

PROYECTO DE GRADO
ESTUDIOS DE PREVISIÓN DE INUNDACIONES EN LA CUENCA
MEDIA BAJA DEL RÍO FUCHA, EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.,
PARA UN PERÍODO DE 25 AÑOS.

JUAN SEBASTIAN GOMEZ GIL
ROGER EDUARDO LEON ABRIL

UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ, COLOMBIA
2018

PROYECTO DE GRADO
ESTUDIOS DE PREVISIÓN DE INUNDACIONES EN LA CUENCA
MEDIA BAJA DEL RÍO FUCHA, EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.,
PARA UN PERÍODO DE 25 AÑOS.

Presentado por:

JUAN SEBASTIAN GOMEZ GIL
ROGER EDUARDO LEON ABRIL

Director
FELIPE SANTAMARÍA ÁLZATE

Grupo GUÍAS (Ambiente, Territorio y Sociedad- programa de ingeniería civil)

UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ, COLOMBIA
2018

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma Ing. Felipe Santamaría Álzate

BOGOTÁ DISTRITO CAPITAL, 08 DE MAYO DE 2018

A Dios

A Diego José Ramírez Barguil, amigo, compañero, por ser un guerrero de Dios y batallar una y otra vez contra el cáncer, a su familia, un Amigo verdadero.

Por allegar a mi vida a personas indelebles como mi Padre, Camilo; y mi Madre, Yolanda, por ser el tiempo y la educación, que desde la cuna hasta la tumba me incitaron a descubrir quién soy.

Sebastián Gómez

A Dios

Dedicado a la Familia Abril, quienes me han brindado su incondicional apoyo en mi proceso de formación como Ingeniero Civil y Ciudadano.

A Eduardo León Rivera

Roger León

Al Ingeniero Felipe Santamaría Álzate quien fue nuestro tutor y director de Tesis, el cual nos brindó sus conocimientos y experiencia en un marco de confianza, amistad y afecto para culminar exitosamente este proyecto de grado

Al programa de Ingeniería Civil de la Universidad Piloto de Colombia y a sus Docentes por brindarnos una formación profesional como Ingenieros Civiles.

A la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá quienes nos suministraron la información necesaria para llevar acabo nuestro Proyecto de Grado.

TABLA DE CONTENIDO

1. RESUMEN	1
2. ABSTRACT	2
3. INTRODUCCIÓN	3
4. MÉTODO CIENTÍFICO	4
5. ETAPA DE OBSERVACIÓN	6
5.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	6
5.1.1. Antecedentes	6
5.1.2. Formulación	7
5.2. JUSTIFICACIÓN	9
6. ETAPA DE FORMULACIÓN	10
6.1. OBJETIVOS	10
6.1.1. Objetivo General	10
6.1.2. Objetivos Específicos	10
6.2. MARCO TEÓRICO	10
6.2.1. Operación de la cuenca media-baja del río Fucha	10
6.2.2. Ciclo Hidrológico	15
6.2.3. Escorrentía Superficial y de los caudales	16
6.2.4. Cuencas y Sub Cuencas del río Fucha	19
6.2.5. Caracterización de Tormentas y Curvas IDF	27
6.2.6. Período de Retorno	28
6.2.7. Hidrograma Unitario	29
6.2.8. Método de Gumbel	30
6.2.9. Escenario Climático	31
6.3. MARCO TECNOLÓGICO	34
6.3.1. Google Earth Pro	34
6.3.2. SewerGEMS	34
6.3.3. HEC-RAS	35
6.4. MARCO HISTÓRICO	36
7. ETAPA DE EXPERIMENTACIÓN	37

7.1.	DISEÑO METODOLÓGICO	37
7.1.1.	Fase 1: Recolección de datos necesarios	37
7.1.2.	Fase 2: Parámetros de caudales y escenarios climáticos	47
7.1.3.	Fase 3: Calibración del Programa HEC-RAS	56
7.1.4.	Fase 4: Resultados con períodos de retorno de 5, 25, 50 y 100 años	59
8.	ETAPA DE CONCLUSIÓN	101
8.1.	Análisis	101
8.2.	Conclusiones	102
9.	BIBLIOGRAFÍA	104
10.	GLOSARIO	105

IMÁGENES

Imagen 1. Mapa 1 Delimitación hidrográfica del río Fucha	12
Imagen 2. Mapa 2 Localización del área urbana de la cuenca del río Fucha	13
Imagen 3. Mapa 3 Tramos de la cuenca del río Fucha	14
Imagen 4. Ciclo del Agua	16
Imagen 5. División de Bogotá por subcuencas de alcantarillado sanitario	21
Imagen 6. División de Bogotá por subcuencas de alcantarillado pluvial	22
Imagen 7. División de Bogotá por subcuencas sanitarias y combinadas	23
Imagen 8. Subcuenca de San Francisco	24
Imagen 9. Subcuenca de Fucha	25
Imagen 10. Subcuenca de Fontibón	26
Imagen 11. Ejemplo Hidrograma Unitario	30
Imagen 12. Complejidad vs Incertidumbre	33
Imagen 13. Google Earth Logo	34
Imagen 14. SewerGEMS Logo Bentley	35
Imagen 15. HEC-RAS Logo	35
Imagen 16. Localización de interceptores (Tramo 4: Av. Boyacá – Av. Ciudad de Cali)	52
Imagen 17. Geometría Fucha y San Francisco	56
Imagen 18. Creación de las secciones transversales	57
Imagen 19. Creación de las secciones transversales	57
Imagen 20. Coeficientes de Manning	58
Imagen 21. Coeficientes de Contracción y expansión	59
Imagen 22. Caudales de diseño para el escenario 1.	62
Imagen 23. Condiciones del límite del flujo	63
Imagen 24. Análisis de régimen del flujo	63
Imagen 25. Modelación Finalizada	64
Imagen 26. Perspectiva No 1 X-Y-Z del Escenario 1	65
Imagen 27. Perspectiva No 2 X-Y-Z del Escenario 1	66
Imagen 28. Perspectiva No 3 X-Y-Z del Escenario 1	67
Imagen 29. Caudales de diseño para el escenario 2	78
Imagen 30. Condiciones del límite del flujo	79
Imagen 31. Análisis del régimen del flujo	79

Imagen 32. Modelación Finalizada	80
Imagen 33. Perspectiva No 1 X-Y-Z del Escenario 2 – Período de retorno 5 años	81
Imagen 34. Perspectiva No 2 X-Y-Z del Escenario No 2 - Período de retorno 5 años	82
Imagen 35. Perfil del canal del Fucha a un período de retorno de 5 años	83
Imagen 36. Perspectiva No 1 X-Y-Z del Escenario No 2 – Período de retorno 25 años	86
Imagen 37. Perspectiva No 2 X-Y-Z del Escenario No 2 – Período de retorno 25 años	87
Imagen 38. Perfil del canal Fucha a un período de retorno de 25 años	88
Imagen 39. Perspectiva No 1 X-Y-Z del Escenario No 2 – Período de retorno 50 años	91
Imagen 40. Perspectiva No 2 X-Y-Z del Escenario No 2 – Período de retorno 50 años	93
Imagen 41. Perfil del canal Fucha a un período de retorno de 50 años	93
Imagen 42. Perspectiva No 1 X-Y-Z del Escenario 2 – Período de retorno 100 años	96
Imagen 43. Perspectiva No 2 X-Y-Z del Escenario 2 – Período de retorno 100 años	97
Imagen 44. Perfil del canal Fucha a un período de retorno de 100 años	98

GRAFICOS

Grafica 1: Esquema método científico	5
Grafico 2. Perfil Canal Fucha	38
Grafico 3. Perfil Canal San Francisco	38
Grafico 4. Secciones transversales río Fucha	39
Grafico 5. Secciones transversales río Fucha	40
Grafico 6. Secciones transversales río Fucha	41
Grafico 7. Secciones transversales río Fucha	42
Grafico 8. Secciones transversales río Fucha	43
Grafico 9. Secciones transversales río Fucha	44
Grafico 10. Secciones transversales río Fucha	45
Grafico 11. Secciones transversales río Fucha	46
Grafico 12. Hidrograma precipitación máxima anual.	47
Grafico 13. Caudal máximo en tiempo de Retorno	51
Grafico 14. Curvas IDF estación El Delirio	55

ECUACIONES

Ecuación 1. Período de retorno y Probabilidad	29
Ecuación 2. Método de Gumbel	31

TABLAS

Tabla 1: Rango de Diámetros para Red Troncal, Secundaria y Local	19
Tabla 2. Áreas de drenaje cuencas sanitarias y combinadas	27
Tabla 3. Áreas de drenaje cuencas pluviales	27
Tabla 4. Cálculo de parámetros estadísticos principales	50
Tabla 5. Cálculo de parámetros estadísticos principales	50
Tabla 6. Estimación de los caudales para diferentes tiempos de retorno	50
Tabla 7. Caudales medios acumulados y caudales máximos horarios	52
Tabla 8. Precipitación máxima den 24 horas de la estación El Delirio.	53
Tabla 9. Cálculo de curvas IDF en la estación El Delirio	54
Tabla 10. Caudal para cada tiempo de retorno	60
Tabla 11. Resultados para un tiempo de retorno de 5 años	69
Tabla 12. Resultados para un tiempo de retorno de 25 años	71
Tabla 13. Resultados para un tiempo de retorno de 50 años	73
Tabla 14. Resultados para un tiempo de retorno de 100 años	75
Tabla 15. Caudales máximos para el escenario 2	76
Tabla 16. Resultados para un tiempo de retorno de 5 años	85
Tabla 17. Resultados para un tiempo de retorno de 25 años	90
Tabla 18. Resultados para un tiempo de retorno de 50 años	95
Tabla 19. Resultados para un tiempo de retorno de 100 años	100

1. RESUMEN

El proyecto de investigación se fundamenta en la recopilación de información hidráulica e hidrológica perteneciente a la cuenca media – baja del río Fucha localizado en la ciudad de Bogotá D.C., Colombia.

De acuerdo con la problemática que ha caracterizado al río Fucha desde el año 2006, es necesario ilustrar los diferentes aspectos climatológicos, hidrológicos, hidráulicos y ambientales en la cuenca en estudio mediante un análisis hidráulico e hidrológico en el tramo a considerar del proyecto.

Se describe el proceso de aplicación de conocimientos y metodología implementada por la “*CONSULTORÍA PARA LA ACTUALIZACIÓN DEL PLAN MAESTRO DE ABASTECIMIENTO Y LA ELABORACIÓN Y FORMULACIÓN DEL PLAN MAESTRO DE ALCANTARILLADO PARA BOGOTÁ Y SUS MUNICIPIOS VECINOS*” Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá D.C. (2016). (Contrato 1-02-25500-1318-2013); Desarrolló de manera compatible la actualización del plan maestro de abastecimiento para Bogotá y sus municipios vecinos y la formulación del plan maestro de alcantarillado para la ciudad de Bogotá, documento en el cual se desarrolla la proyección de los diferentes niveles de la cuenca del Fucha a partir de los tiempos de retorno de 10, 25 y 100 años.

Concluyendo así que el comportamiento de esta cuenca en su sector medio – bajo depende directamente de las características hidrológicas e hidráulicas que está maneja por estar en el ambiente urbano y ser recolectora de aguas pluviales y sanitarias de la capital; La sección de análisis se ubica en las coordenadas 4°38'52.63" N – 74°07'43.60" O y 4°39'28.23" N – 74°08'12.99" O (Avenida Boyacá - Calle 16 y Avenida Ciudad de Cali – Calle 16b) en dirección del flujo del río.

Se realizará un modelo hidráulico donde se tomara en cuenta un escenario de cambio climático para Bogotá propuesto por la IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático) ejecutado por el IDEAM (Instituto de Hidrología,

Meteorología y Estudios Ambientales) para los próximos 20 años siguientes indicando un aumento en las lluvias por encima del 40% respecto al período de referencia de la investigación.

Pregunta de Investigación

¿Qué impacto se espera que tenga el cambio climático sobre los eventos naturales de inundación en la cuenca media – baja del río Fucha?

2. ABSTRACT

The research project is based on the collection of hydraulic and hydrological information pertaining to the middle-low basin of the Fucha river located in the city of Bogotá D.C., Colombia.

According to the problem that has characterized the Fucha river since the year 2006, it is necessary to illustrate the different climatic, hydrologic, hydraulic and environmental aspects in the basin under study through a hydraulic and hydrological analysis in the section to investigate.

It describes the process of application of knowledge and methodology implemented by the “*CONSULTORÍA PARA LA ACTUALIZACIÓN DEL PLAN MAESTRO DE ABASTECIMIENTO Y LA ELABORACIÓN Y FORMULACIÓN DEL PLAN MAESTRO DE ALCANTARILLADO PARA BOGOTÁ Y SUS MUNICIPIOS VECINOS*” Aqueduct and Sewer Company of Bogotá D.C. (2016). (Contract 1-02-25500-1318-2013).; It developed in a compatible way the updating of the master plan of Supply for Bogotá and its neighboring municipalities and the formulation of the master plan of sewerage for the city of Bogotá, document in which it develops the projection of the different Fucha basin levels from the return times of 10, 25 and 100 years.

Concluding thus that the behavior of this basin in its medium-low sector depends directly on the hydrological and hydraulic characteristics that it manages to be in the urban environment and to be a collector of rainwater and sanitary waters of the capital; the analysis section is located in the coordinates 4°38'52.63" N – 74°07'43.60" O y 4°39'28.23" N – 74°08'12.99" O (Avenida Boyacá - Calle 16 y Avenida Ciudad de Cali – Calle 16b) In the direction of the river flow.

A hydraulic model will be carried out which will take into account a climate change scenario for Bogotá proposed by the IPCC (Intergovernmental Group of Experts on climate change) implemented by the IDEAM (Institute of Hydrology, Meteorology and environmental studies) for the Next 20 years indicating an increase in rainfall above 40% over the reference period of the investigation.

3. INTRODUCCIÓN

Esté estudio comprende la representación de un modelo hidráulico en las coordenadas 4°38'52.63" N – 74°07'43.60" O y 4°39'28.23" N – 74°08'12.99" O (Avenida Boyacá - Calle 16 y Avenida Ciudad de Cali – Calle 16b) del tramo 4 de la cuenca del río Fucha, donde se demostraran los análisis y resultados del estudio con base en un escenario climático, puesto que desde el año 2006 el río Fucha se ha caracterizado por presentar desbordamientos en temporadas de invierno en la ciudad de Bogotá, que es ocasionado principalmente por la precipitación desmesurada.

La cuenca del río Fucha al ser caracterizada como cuenca urbana, está representada por el incremento de la impermeabilización y la reducción de la infiltración debido al revestimiento del suelo como consecuencia de la construcción de edificios, pavimentación de calles, avenidas, y principalmente la remoción de cobertura vegetal. Estos factores incrementan el volumen y la velocidad de escorrentía produciendo caudales picos mayores en comparación con una cuenca no intervenida. Teniendo en cuenta esto, se deduce que la urbanización impacta fuertemente sobre el medio natural provocando un cambio en el

comportamiento hidrológico de la cuenca con respecto a las condiciones previas al desarrollo.

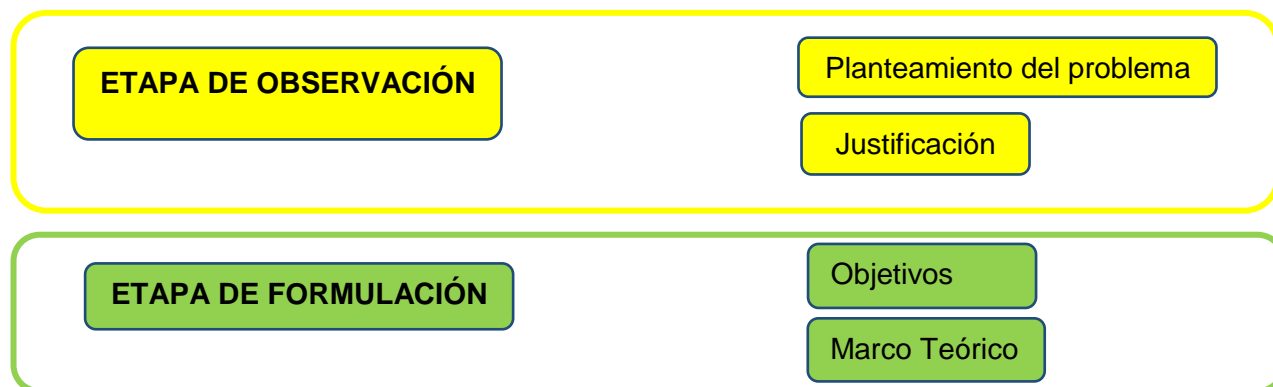
El tema de riesgo por inundación debe analizarse bajo dos puntos de vista: las inundaciones ocurridas por el desbordamiento de los canales de drenaje de la cuenca del Fucha y las inundaciones ocasionadas por la falta de capacidad de la red de drenaje de la cuenca.

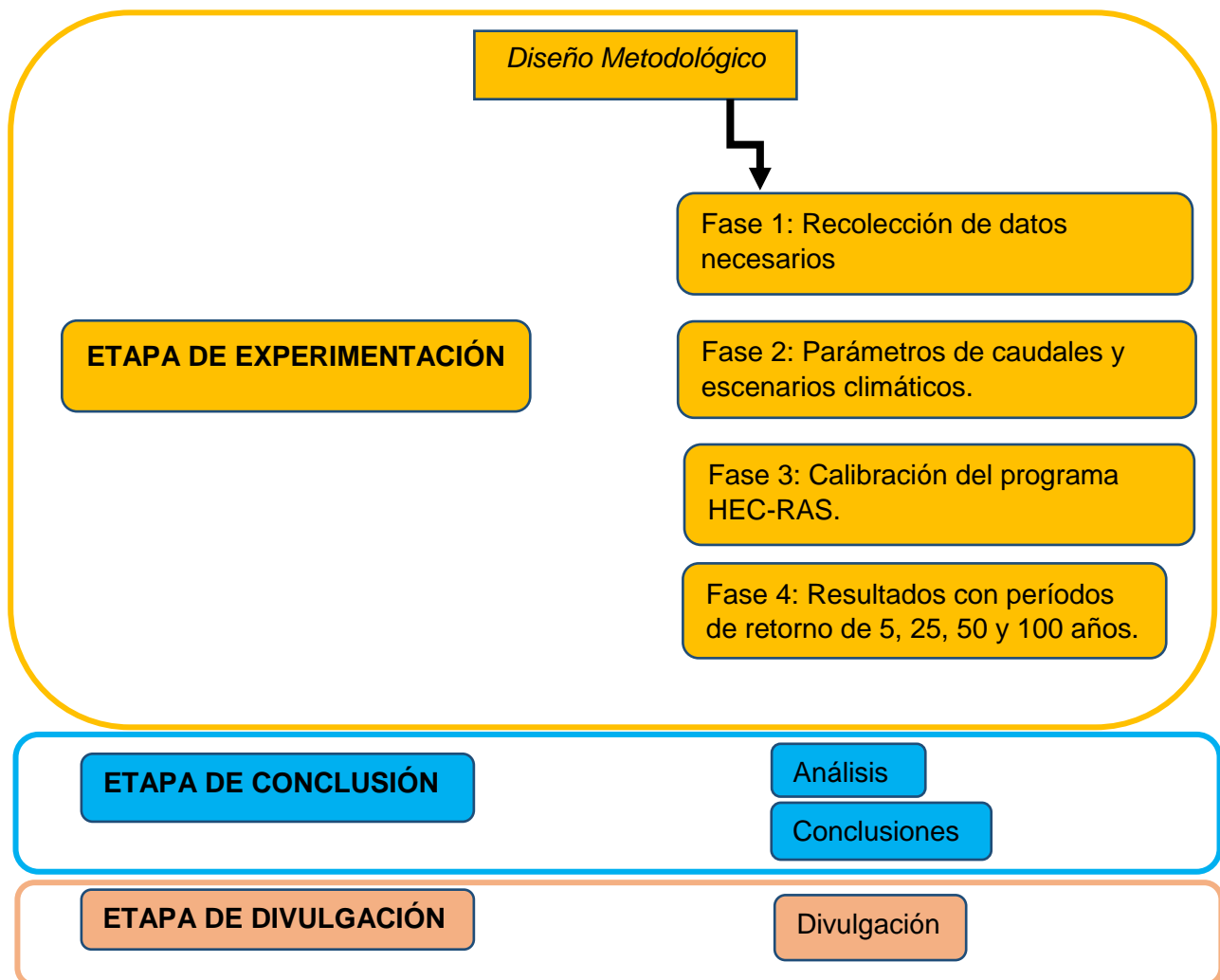
El origen de las inundaciones es el mismo, esto es, la respuesta de la cuenca a eventos extraordinarios de precipitación, históricamente en el país, el fenómeno de la niña que se presentó durante los años 2010 – 2011 ha sido uno de los períodos de mayor impacto en el país, evidencia directa de esta situación se puede constatar por las emergencias vividas en la ciudad de Bogotá.

Por ello la investigación será enfocada en un estudio de previsión de inundación en la cuenca media – baja del río Fucha incluyéndole un escenario climático, para así confrontar cómo impacta el cambio climático a la cuenca del río Fucha.

4. MÉTODO CIENTÍFICO

De acuerdo al objetivo del proyecto, se realizó bajo el proceso de investigación del método científico así:





Grafica 1: Esquema método científico

Con base en el esquema anterior se describe a continuación el proceso investigativo:

5. ETAPA DE OBSERVACIÓN

5.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

5.1.1. Antecedentes

El sistema del Fucha está conformado por las cuencas del río Fucha, del río San Francisco y por la zona de Fontibón. El sistema está localizado en la sección centro - sur de la ciudad de Bogotá D.C. y drena las aguas de oriente a occidente, concentrándolas en el río Fucha para finalmente entregarlas al río Bogotá.

En el eje principal de drenaje de la cuenca tiene inicio en la formación de los cerros orientales que es tomada de las aguas del río San Cristóbal, enseguida de su alineamiento se desarrolla en sentido suroriente – noroccidente hasta el cruce con la Avenida Boyacá en este largo recorrido el Fucha se encuentra canalizado y transcurre en una sección trapezoidal revestida en concreto cuya base va de poco más de 7 metros en la parte alta y casi a 20 metros en cercanías del cruce con el río Bogotá, así como su entrega corresponde a un cauce natural.

La cuenca del río Fucha tiene un área de 12.991 hectáreas urbanas y 4.545 hectáreas rurales correspondientes a los cerros orientales, lo que equivale a casi el 30% de la superficie de la ciudad de Bogotá D.C., el crecimiento de esta zona y al ser de las más antiguas se puede hallar sistemas de drenaje pluvial, sanitario y combinado a lo largo de la cuenca que se detuvo a mediados de 1970, cuando se decidió que las redes que se construyeran desde ese entonces serían de tipo separado.

En diciembre de 1979 se presentaron las más severas inundaciones del río Bogotá, en sectores como el puente del común, puente de Guadua, la carretera de Guaymaral y de manera especial la zona del Tintal, donde se daba un asentamiento de origen ilegal, ya entre 1982 y 1985 se lleva a cabo un análisis de estudios de tormentas para el río Bogotá, previendo la variación espacial y temporal que serviría de insumo más adelante en el modelo de tránsito de crecientes.

En 1988 la compañía BIWATER del Reino Unido planteó a la ciudad un novedoso esquema de concesión para el tratamiento de las aguas residuales de la ciudad en la cual la empresa se comprometía a construir las obras necesarias para la planta de tratamiento de aguas residuales - PTAR, su operación y mantenimiento por 20 años, cumpliendo estándares internacionales de calidad en sus aguas, a su vez desarrollar obras para conducir las aguas residuales hacia el sitio de tratamiento. Los análisis realizados indicaron que las inversiones para mantener el esquema planteado en 1985 de una sola planta de tratamiento en Canoas.

Razón por la cual se llegó a la conclusión que el único esquema viable financieramente era el tratamiento en tres sitios que corresponden a la desembocadura de cada uno de los ríos Salitre, Fucha y Tunjuelo, ya en el año 2000 con la compilación del plan de ordenamiento territorial - POT contempla este esquema de tratamiento con tres plantas en áreas del esquema de desarrollo.

Según la resolución 2818 de 2006, la secretaria distrital de ambiente - SDA declaró en ordenación la cuenca hidrográfica del río Fucha en su área urbana y con base en el convenio 021 de 2005, suscrito entre la SDA y la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá - EAAB se delegó en esta última la contratación del plan de ordenamiento y manejo de la cuenca del río Fucha en su área urbana y del plan de manejo del corredor ecológico de ronda del río Fucha (POMCA río Fucha).

5.1.2. Formulación

Dentro del marco normativo de la ciudad de Bogotá el plan de ordenamiento territorial - POT adoptado y compilado en el Decreto 190 de 2004, establece en el Título 1, Capítulo 2. Que *“La Estructura Ecológica Principal tiene como base la estructura ecológica, geomorfológica y biológica original y existente en el territorio. Los cerros, el valle aluvial del río Bogotá y la planicie son parte de esta estructura basal. El conjunto de reservas, parques y restos de la vegetación natural de quebradas y ríos son parte esencial de la Estructura Ecológica Principal deseable y para su realización es esencial la*

restauración ecológica.” Garzón, Luis, E. (2010), Plan de Ordenamiento Territorial. Recuperada de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=13935>.

Y en referencia al plan de ordenamiento y manejo de cuencas hidrográficas - POMCA retoman los lineamientos y potencialidades de recuperar la funcionalidad de la estructura ecológica principal, que invita a las entidades públicas encargadas del control y seguimiento del recurso hídrico en la ciudad de Bogotá D.C. al aprestamiento, diagnóstico, prospectiva, formulación, ejecución, evaluación y seguimiento del río Fucha.

Por ello la EAAB a través del contrato 1-02-25500-1318-2013 – INGETEC S.A. desarrolló de manera simultánea la actualización del plan maestro de abastecimiento para Bogotá y sus municipios vecinos y la formulación del plan maestro de alcantarillado para la ciudad de Bogotá.

Este plan maestro de alcantarillado le permitirá a la EAAB contar con herramientas de planeación a corto, mediano y largo plazo; Para avanzar en la conversión del sistema de alcantarillado de la ciudad en un sistema urbano de drenaje sostenible - SUDS.

El presente plan maestro se centra en tres temas principales: la rehabilitación integral de los sistemas de drenaje existentes, el manejo sostenible de las aguas lluvias y la operación del sistema, incluyendo su mantenimiento.

Sabemos que durante la década 2001-2010 se pudieron observar los valores más altos de precipitación. Evidencia directa de esta situación se puede constatar por las emergencias vividas en la ciudad durante los últimos años. Generalmente bajo la presencia del evento de variabilidad climática asociado a “La Niña” favoreciendo la hipótesis de que bajo la influencia de dicho fenómeno de variabilidad climática en la escala interanual, se desencadena un aumento en la precipitación. Sin embargo, la investigación muestra que trimestres mensuales localizados a mitad de año, las lluvias tienen comportamientos dentro de lo normal bajo mencionada situación. Para el caso de eventos tipo “El Niño”, la precipitación se reduce, lo cual en algunas temporadas de lluvias ha obligado a la administración distrital a construir pozos para asegurar el abastecimiento de agua en la ciudad (*Escobar, O. F., 2012*).

De acuerdo a esto es totalmente impredecible tener eventos de precipitación desmesurada con netamente la formulación estadística y probabilística que estén encaminadas directamente a la solución de esta problemática, por ende el proyecto estará encaminado a responder a través de una indagación minuciosa a la pregunta de investigación que permitirá sacar conclusiones pertinentes al manejo del recurso hídrico en sectores urbanos.

5.2. JUSTIFICACIÓN

La investigación que ha venido desarrollando el instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales - IDEAM acerca del ambiente particularmente el fenómeno climático; para detectar las evidencias del cambio climático en Colombia y elaborar los escenarios climáticos que con mayor probabilidad se presentaran en los próximos decenios, surge la necesidad de estudiar a mayor detalle obras complementarias a los diseños actuales de los ríos en Colombia, por ello destinamos nuestra investigación a la previsión de inundaciones en la cuenca media – baja del río Fucha.

Bogotá al ser una ciudad consolidada urbanísticamente y que apunta a obtener herramientas de gestión sostenibles, ha investigado a través un convenio interadministrativo entre La Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá EAB-ESP y la Secretaria Distrital de Ambiente SDA, propender por un sistema urbano de drenaje que busque la adecuada esorrentía que drena hacia los ríos, quebradas y humedales, que promueva el aprovechamiento de agua lluvia para mitigar y/o prevenir inundaciones, razón por la cual se contrató a la Universidad de los Andes para desarrollar *“Investigación de las tipologías y/o tecnologías de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) que más se adapten a las condiciones de la ciudad de Bogotá D.C”*. Universidad de los Andes. (2015). (Contrato 2-02-26200-0506-2014).

La importancia del presente análisis se realizará con las condiciones de frontera de los afluentes del río Fucha y reproducción de tormentas históricas, al cual se le añadirá un escenario climático; Con el fin de analizar el comportamiento hidráulico del tramo 4 de la

cuenca del río Fucha y con ello determinar si existe riesgo de inundación en las zonas aledañas a las márgenes de río con períodos de retorno de 5, 25, 50 y 100 años.

Pregunta de Investigación

¿Qué impacto se espera que tenga el cambio climático sobre los eventos naturales de inundación en la cuenca media – baja del río Fucha?

6. ETAPA DE FORMULACIÓN

6.1. OBJETIVOS

6.1.1. Objetivo General

Presentar un análisis del estudio de inundaciones en la cuenca media – baja del río Fucha mediante un modelo hidráulico.

6.1.2. Objetivos Específicos

- ✓ Recopilar información hidrológica e hidráulica de la cuenca media baja del río Fucha que permita su evaluación y estudio.
- ✓ Calibrar el programa HEC-RAS para la simulación del comportamiento del río con un tiempo de retorno de 5, 25, 50 y 100 años con la información recopilada.
- ✓ Proponer alternativas a la infraestructura existente con base a metas hidráulicas y ambientales.

6.2. MARCO TEÓRICO

6.2.1. Operación de la cuenca media-baja del río Fucha

Para la elaboración, planificación, ejecución y control de la cuenca del río Fucha es necesario conocer previamente la naturaleza y número de los diferentes componentes del

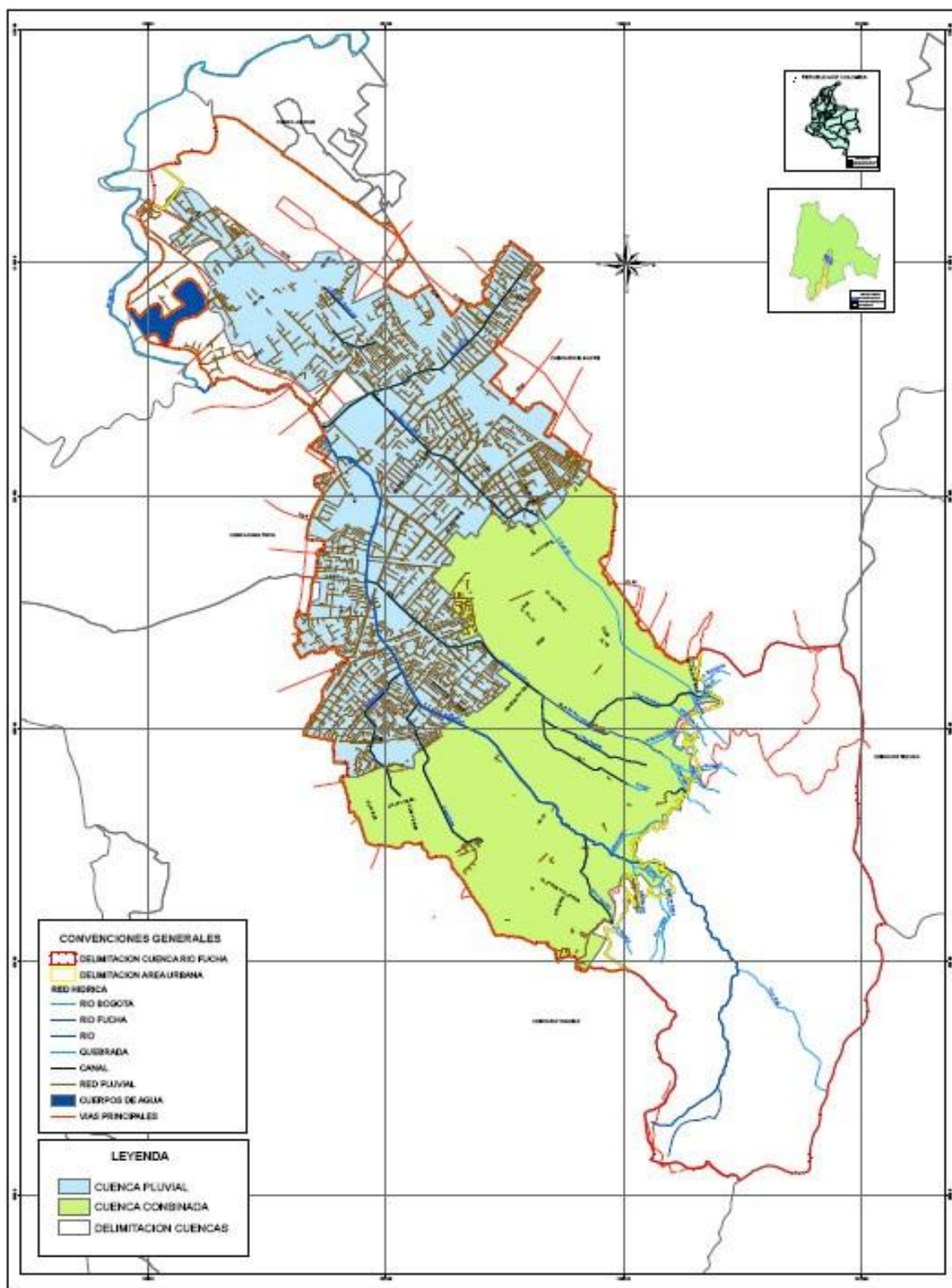
sistema, por ello, de acuerdo al POMCA del río se ilustran tres mapas con la siguiente información:

1. Delimitación de la cuenca hidrográfica del río Fucha y de su área urbana.
2. Localización del área urbana de la cuenca del río Fucha.
3. Tramos de la cuenca.

La Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá EAB-ESP, es la encargada de la operación, control y mantenimiento de la red de acueducto y alcantarillado de la ciudad de Bogotá, razón por la cual adopta infraestructura de drenaje del sistema pluvial y sanitario de la cuenca del río Fucha compilado en el plan maestro de alcantarillado.

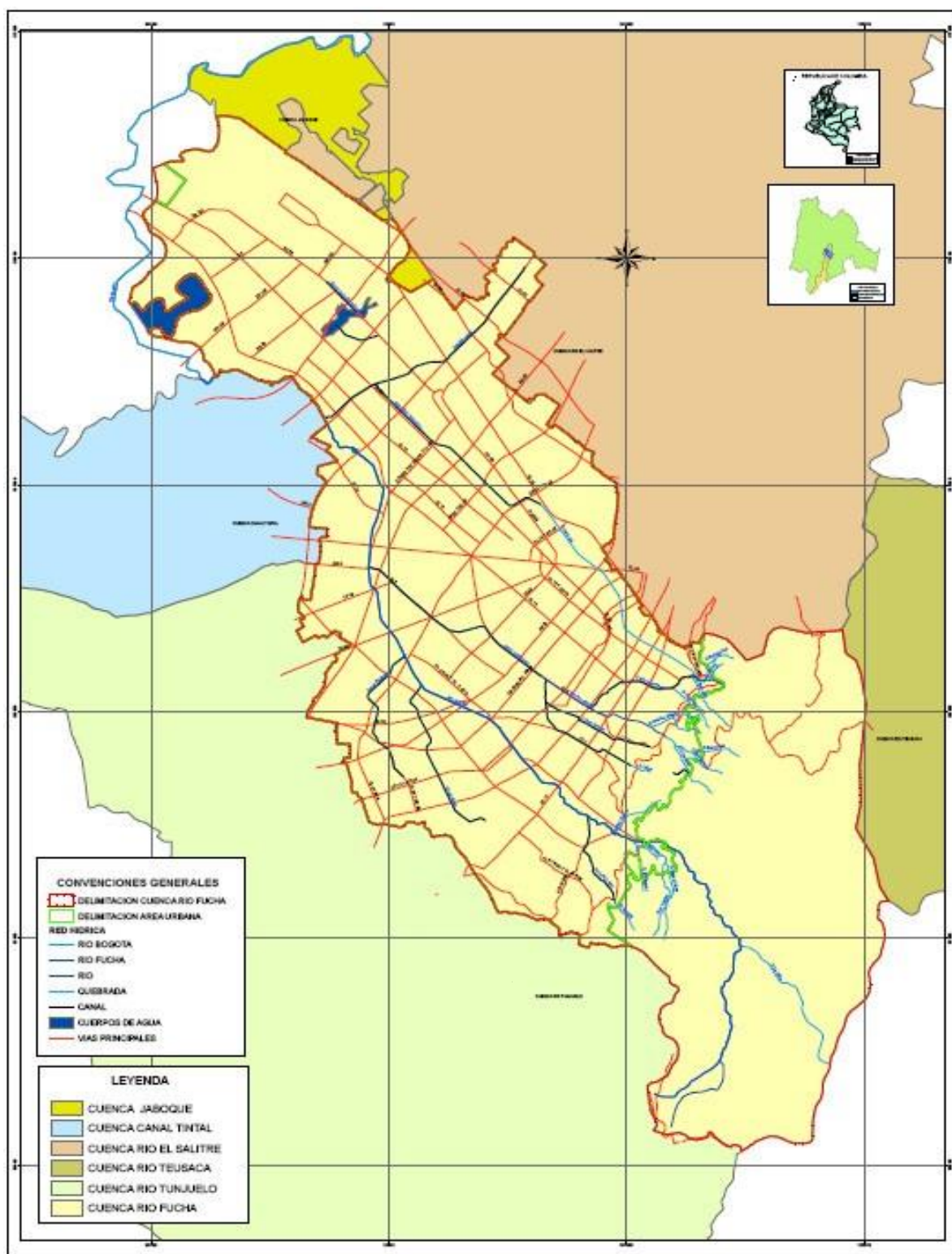
De esta manera centrar en tres temas principales la operación y mantenimiento de la red troncal del río Fucha los cuales son:

- ✓ Programa de rehabilitación integral de los sistemas de drenaje, planteado desde tres perspectivas esenciales del sistema la capacidad hidráulica, capacidad estructural y saneamiento de la cuenca.
- ✓ Programa integral de manejo aguas lluvias orientado a optimizar la configuración y el funcionamiento del sistema pluvial de la cuenca.
- ✓ Programa de mantenimiento y operación, la cual básicamente se plantea sobre las tecnologías y recursos requeridos para el monitoreo en tiempo real del sistema de alcantarillado troncal de la cuenca, y así mismo programar las necesidades hidráulicas, ambientales y operacionales.



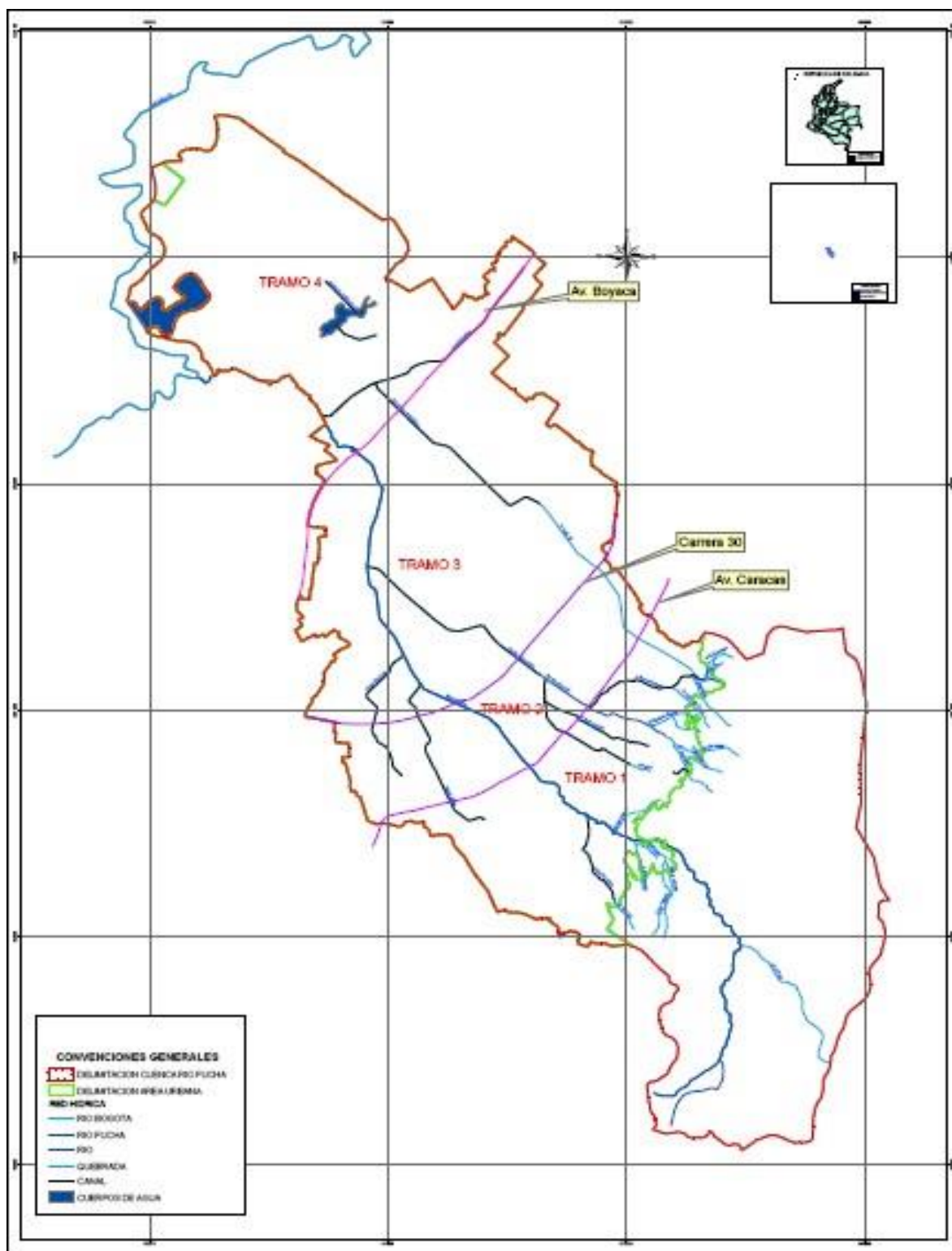
EAAB-SDA, (2006). Delimitación hidrográfica del río Fucha [Imagen]. Recuperado de Contrato No. 1-02-24100-696-2006.

Imagen1. Mapa 1 Delimitación hidrográfica del río Fucha



EAAB-SDA, (2006). Delimitación hidrográfica del río Fucha [Imagen]. Recuperado de Contrato No. 1-02-24100-696-2006.

Imagen 2. Mapa 2 Localización del área urbana de la cuenca del río Fucha



EAAB-SDA, (2006). Delimitación hidrográfica del río Fucha [Imagen]. Recuperado de Contrato No. 1-02-24100-696-2006.

Imagen 3. Mapa 3 Tramos de la cuenca del río Fucha

Con ello la operación de la cuenca media – baja del río Fucha es una evaluación hidráulica de las redes sanitarias, del sistema secundario de aguas lluvias, de la red troncal de alcantarillado, canales y los altos niveles del río Bogotá que en conjunto e interacción de los mismos se ajustan las demandas de crecientes del sistema en el tiempo producidas por el crecimiento de la población y al cambio climático en la sabana de Bogotá D.C.

6.2.2. Ciclo Hidrológico

Pérez, Guillermo (2015) afirma:

El ciclo hidrológico, describe el movimiento continuo y cíclico del agua en el planeta tierra. El agua puede cambiar su estado entre líquido, vapor y hielo en varias etapas del ciclo, y los procesos pueden ocurrir en cuestión de segundos o en millones de años. Aunque el equilibrio del agua en la tierra permanece relativamente constante con el tiempo, las moléculas de agua individuales pueden circular muy rápido.

El sol dirige el ciclo calentando el agua de los océanos. Parte de esta agua se evapora en vapor de agua. El hielo y la nieve pueden sublimar directamente en vapor de agua. Las corrientes de aire ascendentes toman el vapor de la atmósfera, junto con el agua de evapotranspiración, que es el agua procedente de las plantas y la evaporación del suelo. El vapor se eleva en el aire, donde las temperaturas más frías hacen que se condense en nubes.

Las corrientes de aire mueven las nubes alrededor del globo. Las partículas de las nubes chocan, crecen y caen del cielo como precipitación. Algunas caen como precipitaciones de nieve y pueden acumularse como casquetes polares y glaciares, que almacenan el agua congelada durante miles de años. En climas más cálidos, los bloques de nieve a menudo se descongelan y se derriten cuando llega la primavera, y el agua derretida fluye por la tierra.

La mayor parte de la precipitación cae sobre los océanos o la tierra, donde, debido a la gravedad, fluye sobre la superficie. Una parte de esa agua entra en los ríos a través de valles en el paisaje, y la corriente mueve el agua hacia los océanos. El agua filtrada pasa a

las aguas subterráneas, que se acumulan y son almacenadas como agua dulce en lagos. No toda el agua fluye por los ríos. La mayor parte de ella empapa la tierra como infiltración.

Algunas infiltraciones permanecen cerca de la superficie de la tierra y pueden emerger, acabando como agua superficial (y oceánica). Algunas aguas subterráneas encuentran grietas en la tierra y emergen. Con el tiempo, el agua sigue fluyendo, para entrar de nuevo en el océano, donde el ciclo se renueva; Ciclo Hidrológico. Recuperado de

<https://www.ciclohidrologico.com/>



Pérez, Guillermo. (2015). Ciclo Hidrológico (o del agua). Recuperado de <https://www.ciclohidrologico.com/>

Imagen 4. Ciclo del Agua

6.2.3. Escorrentía Superficial y de los caudales

La cuenca urbana del río Fucha encontrada en los tramos 2, 3 y 4, donde se identifica que ya pertenece a un área de más de 12.991 hectáreas impermeables, que no permiten la filtración de la precipitación en sus áreas naturales de lo que una vez fue la sabana de Bogotá y por ende se verá alterado la esorrentía superficial del ciclo del agua.

La sabana de Bogotá durante las últimas décadas ha tenido un proceso acelerado de urbanización, evidente consecuencia del peligro que representa para las zonas con altos niveles de amenaza por inundación y más aun teniendo en cuenta que “Se estima que, a principios del siglo XX, el área ocupada por lagos y humedales en los que hoy es Bogotá, sumaba más de 50.000 hectáreas (1). Hoy tan sólo quedan 675 (2).” Escobar, Jorge, E. (2017). Erase una vez un Humedal. Recuperada de <http://humedalesbogota.com/erese-una-vez-un-humedal/>. ¿Pero cuál es el papel que juegan los humedales en el ciclo del agua?, los humedales por lo general acumulan grandes cantidades de agua bien sea por precipitación, agua subterránea o mediante arroyos o ríos, lo que genera que su circulación sea más lenta en los humedales y esto tiene efectos importantes ya que funcionan como regulares de los excesos y deficiencias hídricas, ayudan a mitigar las crecientes y la recarga y descarga de agua subterránea.

Razón para definir que los humedales pertenecen a las líneas divisoras de agua que permiten la recarga de acuíferos subterráneos de la sabana de Bogotá, los humedales de la cuenca se ubican en el Tramo 4 esto debido a la amenaza por inundación ocasionada principalmente por la esorrentía superficial que la cuenca adquiere en su recorrido hacia el río Bogotá.

Según la resolución 0330 de 2017 - Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico – RAS, indica que las entidades prestadoras de servicios públicos serán las encargadas de aplicación de normas y especificaciones técnicas que deben articular sus proyectos de infraestructura con sus planes y programas de prestación de servicio y dentro de ellos contemplar las siguientes herramientas de planificación:

- ✓ Planes de ordenamiento territorial - POT, según el caso y lo establecido en el Decreto 2981 de 2013.

- ✓ Planes de ordenamiento y manejo de cuencas - POMCA.
- ✓ Plan de saneamiento y manejo de vertimientos - PSMV.
- ✓ Mapas de riesgo de calidad del agua según el Decreto 4716 de 2010.

Y según el artículo 7 del Decreto 0330/2017 “*Etapas de planeación de los proyectos de acueducto, alcantarillado y/o aseo*” Espriella, Elsa, N. (2017). *Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS)*. Recuperada de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Normal.jsp?i=71542>. Se deberá seguir el siguiente procedimiento:

1. Diagnóstico detallado de la situación del municipio.
2. Determinación de la población afectada.
3. Características socio-culturales de la población.
4. Cuantificación de la demanda y/o necesidades.
5. Conocimiento de la infraestructura existente.
6. Definición del alcance de las intervenciones.
7. Estudios básicos de las alternativas.
8. Formulación y priorización de proyectos.
9. Formulación y análisis de alternativas de proyectos.
10. Comparación de alternativas y selección de alternativa viable.
11. Elaboración del plan de obras.
12. Determinación de costos del proyecto.
13. Formulación del cronograma de implementación del proyecto.

Por ello la Empresa de Acueducto y Alcantarillado, identifico las redes como troncales, secundarias y locales, esta clasificación básicamente está regida por la magnitud del área de drenaje, así como la dimensión y la longitud de las redes, por esa razón la entidad presenta los rangos de diámetros definidos así:

TIPO DE RED	PLUVIAL	SANITARIO	COMBINADO
Troncal	$\theta > 1.0$ m y $L > 1200$ m	$\theta > 0.6$ m y $L > 1200$ m	$\theta > 1.0$ m y $L > 1200$ m
Secundaria	$\theta > 0.5$ m	$\theta > 0.2$ m	$\theta > 0.4$ m
Local	$\theta \leq 0.5$ m	$\theta \leq 0.2$ m	$\theta \leq 0.4$ m

Tabla 1: Rango de Diámetros para Red Troncal, Secundaria y Local

De igual manera la Empresa de Acueducto y Alcantarillado en su sistema de información de normalización técnica – SISTEC, tiene en la Norma de Servicio **NS-085 Criterios de diseño de sistemas de alcantarillado** los requisitos para el diseño de redes de alcantarillado, estimación de caudales del sistema de alcantarillado pluvial y sanitario; Y parámetros de diseño hidráulico que cumplen a cabalidad con lo nombrado anteriormente del Decreto 0330/2017 – RAS.

6.2.4. Cuencas y Sub Cuencas del río Fucha

El crecimiento de la ciudad de Bogotá, permitió el desarrollo de las redes de alcantarillado del Fucha, surgió el esfuerzo de conducir los caudales residuales y pluviales hacia estos dos ejes de patrón natural de drenaje de la cuenca, en la zona más antigua de la ciudad tiene un sistema de alcantarillado de tipo combinado situada entre la avenida calle 19 y la avenida calle 1 y entre la avenida carrera 19 y los cerros orientales que fue extendiéndose hacia el sur, norte y occidente hasta la década de los 70, donde se decidió que las redes se construirían desde ese momento en tipo separado.

Para facilitar el estudio del sistema de la cuenca del Fucha, se dividieron por subcuencas de alcantarillado sanitario, de alcantarillado pluvial y combinado, por este motivo se describirá como están conformadas estas subcuencas.

La cuenca pluvial del Fucha está conformada por el sistema pluvial de las subcuencas de Fucha, San Francisco y Fontibón.

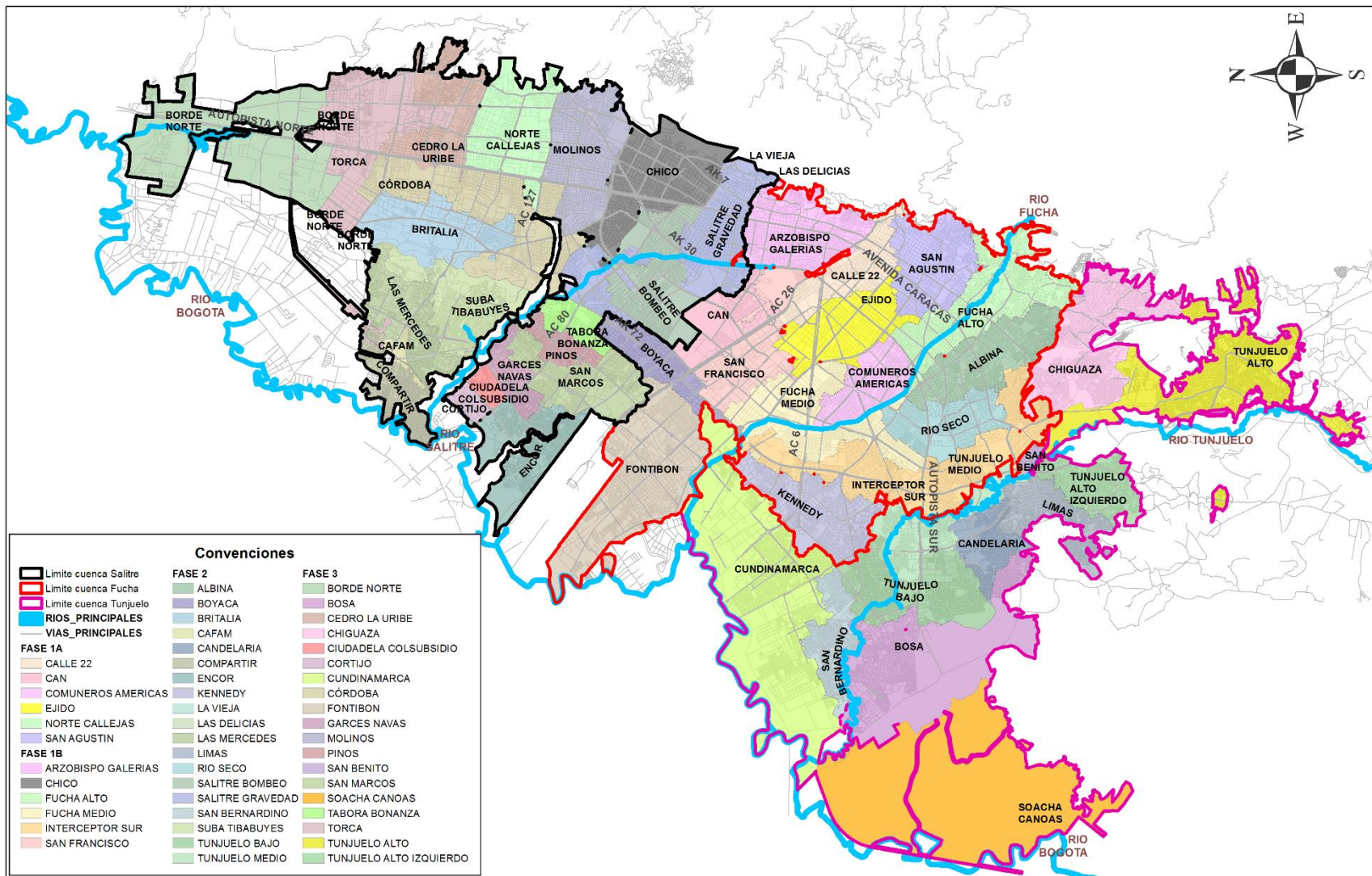
La cuenca sanitaria del Fucha está conformada por las 16 subcuencas las cuales son Calle 22, Ejido, San Agustín, Fontibón, Boyacá, Fucha Medio, Interceptor Sur, Kennedy, Fucha Alto, Comuneros Américas, Arzobispo Galerías, CAN, Cundinamarca, San Francisco, Albina y río Seco.

Esta división en subcuencas se realizó siguiendo los elementos colectores maestros que bien pueden ser ductos cerrados de gran diámetro o canales y su conectividad, por lo que hace que en límite entre subcuencas pluviales y residuales es posible identificar varias subcuencas combinadas, es decir, aquellas en las cuales en la parte alta las redes son de tipo combinado y en la parte baja son de tipo separado.

En estas subcuencas los interceptores combinados entregan a interceptores separados con estructuras especiales denominadas “alivios” que permiten que en verano las aguas residuales continúen por el sistema sanitario y en invierno los caudales mayores sean vertidos a los canales del sistema pluvial.

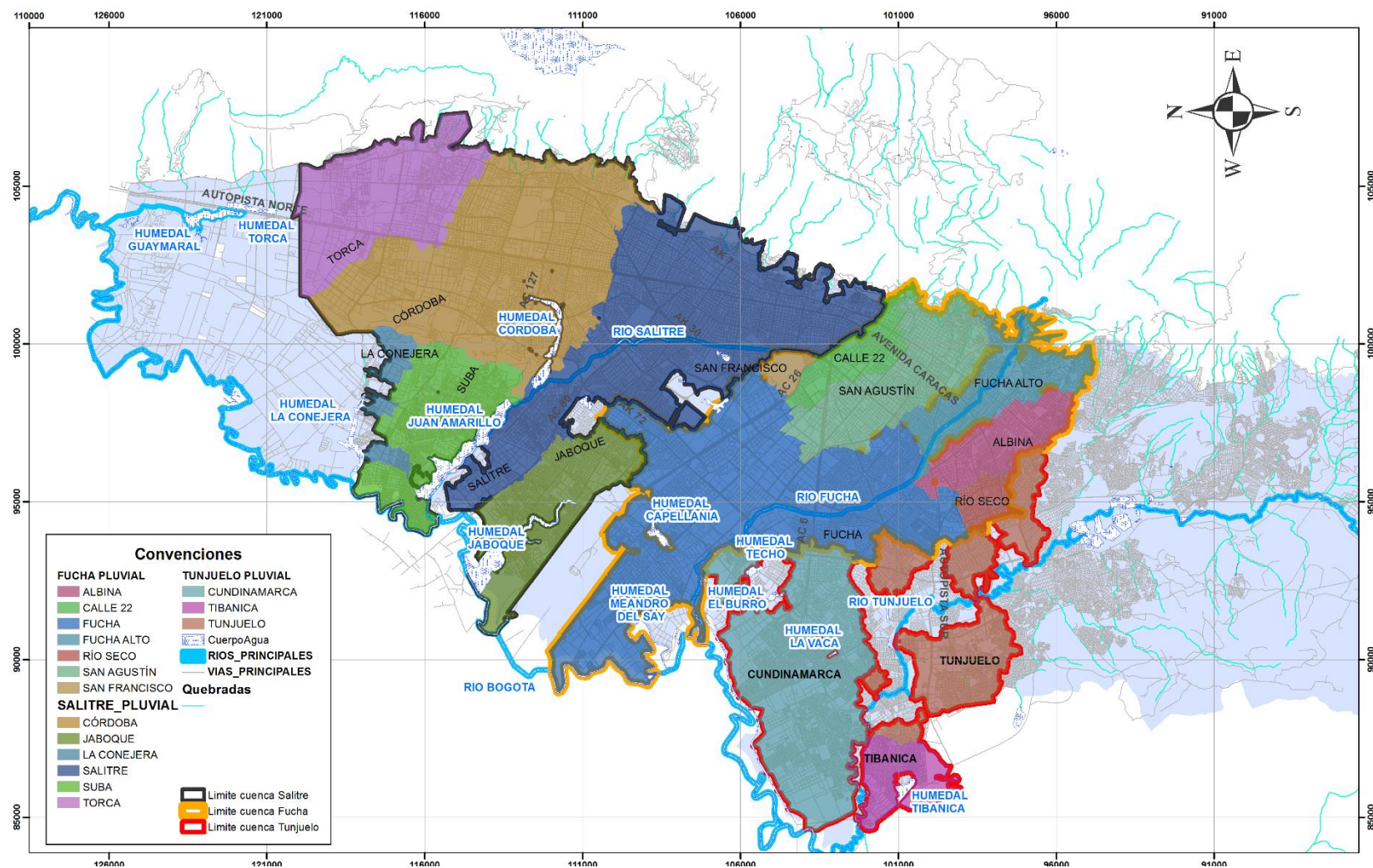
A continuación, se mostraran la distribución de las redes que componen la cuenca del río Fucha, de la siguiente manera:

- ✓ Imagen 5 División de Bogotá por subcuencas de alcantarillado sanitario.
- ✓ Imagen 6 División de Bogotá por subcuencas de alcantarillado pluvial.
- ✓ Imagen 7 División de Bogotá por subcuencas sanitarias y combinadas.
- ✓ Imagen 8 Subcuenca de San Francisco.
- ✓ Imagen 9 Subcuenca de Fucha.
- ✓ Imagen 10 Subcuenca de Fontibón.



EAAB-INGETEC, (2013). División de Bogotá por subcuencas de alcantarillado sanitario [Imagen]. Recuperado de Contrato No. 1-02-25500-1318-2013.

Imagen 5. División de Bogotá por subcuencas de alcantarillado sanitario



EAAB-INGETEC, (2013). División de Bogotá por subcuencas de alcantarillado pluvial [Imagen]. Recuperado de Contrato No. 1-02-25500-1318-2013.

Imagen 6. División de Bogotá por subcuencas de alcantarillado pluvial

La Tabla 2 y la Tabla 3 muestran las áreas de drenaje de las cuencas sanitarias, combinadas y pluviales, del río Fucha.

Tabla 2. Áreas de drenaje cuencas sanitarias y combinadas

CUENCA	SUBCUENCA	ÁREA (ha)
FUCHA	CALLE 22	530
	EJIDO	702
	SAN AGUSTIN	726
	FONTIBON	1544
	BOYACA	425
	FUCHA MEDIO	959
	INTERCEPTOR SUR	1421
	KENNEDY	802
	FUCHA ALTO	1072
	COMUNEROS AMERICAS	492
	ARZOBISPO GALERÍAS	835
	CAN	477
	CUNDINAMARCA	2723
	SAN FRANCISCO	678
	ALBINA	763
	RÍO SECO	572
	TOTAL	14722

Tabla 3. Áreas de drenaje cuencas pluviales

CUENCA	SUBCUENCA	ÁREA (ha)
FUCHA	ALBINA	764
	CALLE 22	525
	FUCHA	5188
	FUCHA ALTO	1077
	RÍO SECO	247
	SAN AGUSTÍN	1422
	SAN FRANCISCO	151
	TOTAL	9374

6.2.5. Caracterización de Tormentas y Curvas IDF

Colombia, debido a su ubicación geográfica intertropical, presenta una de las más altas densidades de descargas a tierra - DDT registradas a nivel mundial, superando valores de 60 rayos/km² año. Las tormentas eléctricas se componen de diferentes procesos físicos

asociados a su ciclo de vida. Varían en escalas de espacio y tiempo, además presentan diferentes rangos de frecuencias y se propagan de diferentes formas.

“Las curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) son curvas que resultan de unir los puntos representativos de la intensidad media en intervalos de diferente duración, y correspondientes todos ellos a una misma frecuencia o período de retorno. Es decir, se trata de una representación gráfica de cómo es de intensa una precipitación en función de cuánto dura el episodio de lluvias y con qué probabilidad puede excederse ese episodio de lluvias” Témez, J. (1978). *Curvas intensidad duración y frecuencia*. Recuperada de http://eias.usalca.cl/Docs/pdf/Publicaciones/manuales/b_modulo_IDF.pdf.

Para la representación de la Curva IDF, fue necesario realizar los siguientes pasos:

1. Selección de la estación pluviométrica
2. Recolección de datos históricos de precipitación
3. Selección de intensidades máximas
4. Cálculos de período de retorno
5. Generación de grafica de curvas

6.2.6. Período de Retorno

El período de retorno se define como el intervalo de recurrencia (T), al lapso promedio en años entre la ocurrencia de un evento igual o mayor a una magnitud dada.

Suele calcularse mediante distribuciones de variables extremas, sobre la base de series de valores extremos registrados dentro de períodos iguales y consecutivos; en hidrología, se realiza el estudio a partir de tablas con la precipitación máxima recogida en 24 horas en un año, durante una serie de años consecutivos. El ajuste de los datos y la predicción de valores extremos suele realizarse mediante las distribuciones de Gumbel.

Sáez, José, A. (2009). Periodo de retorno. Recuperado de <http://www4.ujaen.es/~ajsaez/informe.html.LyXconv/informe.html>

El valor del período de retorno se establece en función de la posición de la variable aleatoria ($P_{\text{máx}}$ o $Q_{\text{máx}}$) en una tabla de valores, ordenados de mayor a menor, y se calcula de la siguiente manera:

$$T = \frac{n+1}{m} \qquad P = \frac{m}{n+1}$$

Ecuación 1. Período de retorno y Probabilidad

Donde:

T = Período de retorno (años).

n = Número de años de registro.

m = Número de Orden.

P = Probabilidad.

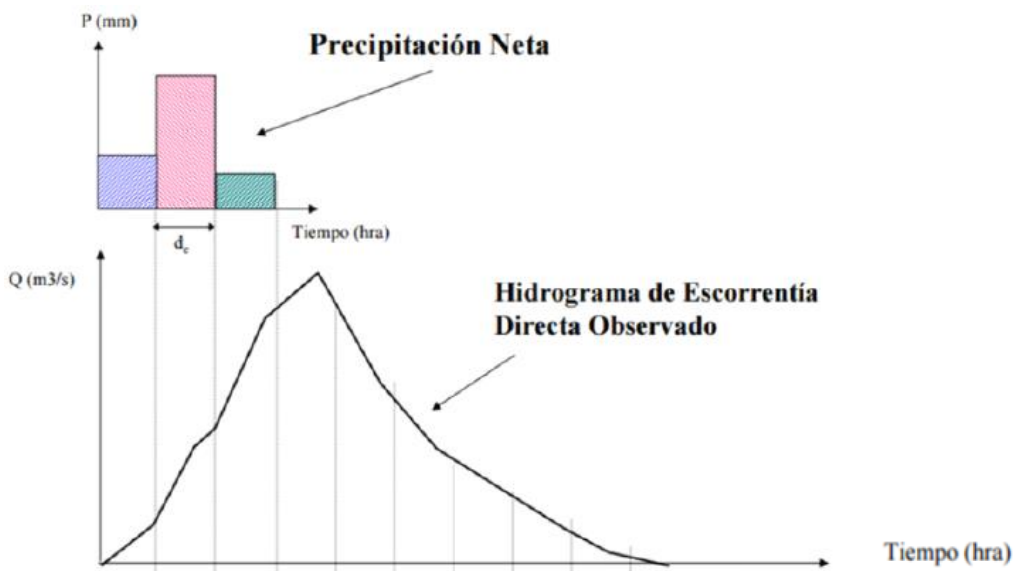
6.2.7. Hidrograma Unitario

El hidrograma unitario es un método utilizado en hidrología, para la determinación del caudal producido por una precipitación; su importancia radica en la separación entre el caudal máximo del básico y su análisis a través de determinación del caudal producido por la precipitación de la cuenca hidrográfica.

De igual forma las condiciones de la precipitación serían de esperarse que ocurran fenómenos de lluvias diferentes que pueden variar su duración, el volumen precipitado, su distribución espacial y su intensidad; Lo que quiere decir que su interpretación grafica se dará en las ordenadas la precipitación máxima anual y en las abscisas el tiempo de estudio.

El análisis de este se da a partir del caudal producido por una precipitación de la cuenca hidrográfica.

Por ello existen diferentes métodos para la conformación de los hidrogramas unitarios, en nuestro caso de estudio, el método escogido para el análisis fue a partir del coeficiente de Gumbel.



Orellana, C. (19 de febrero de 2016). Hidrograma Unitario [Imagen]. Recuperado de <https://es.slideshare.net/CinthiaOrellana1/hidrograma-unitario>.

Imagen 11. Ejemplo Hidrograma Unitario

6.2.8. Método de Gumbel

El método de Gumbel es utilizado para modelar como resultado final después de su aplicación en un hidrograma unitario para un período de retorno determinado, datos de caudales en las corrientes superficiales que atraviesa una vía durante su trayecto a través de la distribución estadística de valores extremos que en este caso corresponde a los caudales máximos en los puntos seleccionados. Así mismo a partir de una serie de registros históricos de caudal, permite predecir la frecuencia y el valor correspondiente de caudal por fuera del rango histórico registrado.

Además, permite, a partir de una serie de registros históricos de caudal, predecir la frecuencia y el valor correspondiente de caudal por fuera del rango histórico registrado.

Para el cálculo de la información de caudales máximos necesitamos:

- ✓ Selección y organización de la información.
- ✓ Cálculo probabilístico de frecuencias.

- ✓ Estimación de coeficiente de Gumbel y parámetros de distribución.
- ✓ Determinación de caudal para cada período de retorno.
- ✓ Generación de gráficas y análisis necesarios.

$$-\ln(-\ln(f(x))) * \alpha + \mu$$

$$\alpha = \frac{Sx}{Sn}$$

$$\mu = x(media) - (yn * \alpha)$$

Ecuación 2. Método de Gumbel

Donde:

$f(x)$ = función en X.

Sx = desviación estándar.

Sn = coeficiente de asimetría.

$x(media)$ = promedio.

yn = coeficiente de variación.

6.2.9. Escenario Climático

Franco, Omar. (2015) afirma:

El estudio del clima es un campo de investigación complejo y en evolución, debido a los diversos factores que la intervienen, el clima de la tierra nunca ha sido estático como consecuencia de las alteraciones en el balance energético el cual varía en escalas temporales desde decenios a miles y millones de años. Entre las variaciones climáticas más destacables que se han producido a lo largo de la historia de la tierra, figuran los períodos glaciares, seguidos de períodos interglaciares.

Se habla de cambio climático a la variación global del clima de la tierra, debido a causas naturales, a la acción del hombre, estas se producen a muy diversas escalas de tiempo y sobre todos los parámetros climáticos: temperatura, precipitaciones, nubosidad, etc.

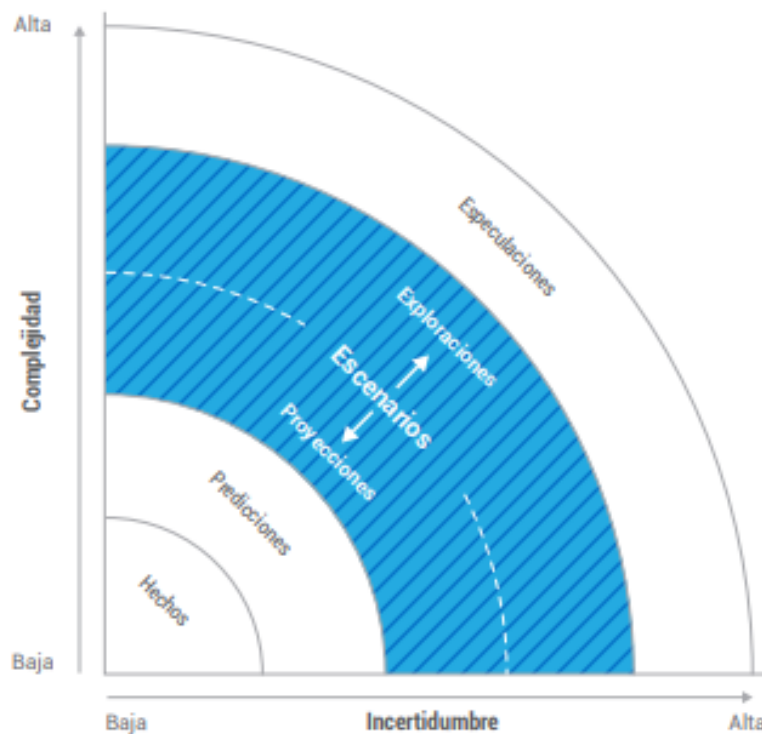
El impacto es potencialmente enorme, con predicciones de falta de agua potable, grandes cambios en las condiciones para la producción de alimentos y un aumento en los índices de mortalidad debido a inundaciones, tormentas, sequías y olas de calor. En definitiva, el cambio climático no es un fenómeno sólo ambiental sino de profundas consecuencias económicas y sociales. Los países más pobres, que están peor preparados para enfrentar cambios rápidos, serán los que sufrirán las peores consecuencias.

El término "efecto de invernadero" se refiere a la retención del calor del Sol en la atmósfera de la Tierra por parte de una capa de gases en la atmósfera. Sin ellos la vida tal como la conocemos no sería posible, ya que el planeta sería demasiado frío; Nuevos escenarios de cambio climático para Colombia 2011 – 2100. Recuperado de http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022964/documento_nacional_departamental.pdf.

Si se dividieran las emisiones de gases efecto invernadero estimadas para Bogotá en el año 2018, en la población de la ciudad para el mismo período (8'081.000 habitantes), la emisión per cápita de cada habitante de la ciudad sería en promedio de 2.19 toneladas de CO₂ equivalente, estas emisiones son las principales causas que desencadenan el cambio climático.

Visto lo anterior se da inicio a los escenarios climáticos en el mundo, donde son netamente la descripción estimable sobre cómo puede desarrollarse el futuro, la cual permitirá prever lo que ocurrirá si se presentan cada uno de los eventos modelados.

Para la ciudad de Bogotá se utilizaron datos de precipitación y temperatura del aire a nivel de mensual de las distintas entidades públicas que tiene estaciones de precipitación, los cuales dieron un total de 105 estaciones pluviométricas y 37 de temperatura.



Franco, O. (2011). Nuevos escenarios de cambio climático para Colombia 2011 - 2100 [Imagen]. Recuperado de http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022964/documento_nacional_departamental.pdf.

Imagen 12. Complejidad vs Incertidumbre

Se generó las probabilidades de que la precipitación y la temperatura se alteren ante eventos de variabilidad climática. Para este caso la variable explicativa fue la temperatura superficial del mar (TSM) en la región niño 3.4 y la ayuda del software Jaziku (León, et al., 2012).

Se construyó una base de datos de precipitación y temperatura media de clima presente simulado por PRECIS utilizando datos de baja resolución del reanálisis ERA40 con la metodología explicada por Jones et al. (2004).

Finalmente se da la publicación del documento nacional de Nuevos escenarios de Cambio Climático para Colombia 2011-2100 elaborado por el IDEAM, que permite el uso libre de las estadísticas pronosticadas para eventos de precipitación y temperatura.

6.3. MARCO TECNOLÓGICO

6.3.1. Google Earth Pro



Google, Earth. (17 de diciembre de 2015). Logo Google Earth [Imagen]. Recuperado de <https://www.google.com.co/search?q=logo+google+earth+pro&source>

Imagen 13. Google Earth Logo

El programa Google Earth Pro es una herramienta gratuita que permite ver la tierra a través de un globo terráqueo virtual, con ella es posible contemplar el planeta tierra, ver capas de datos demográficos, catastrales y de tráfico, de igual manera también sacar el máximo provecho a las funciones de importación de datos SIG (Sistemas de Información Geográfica) con el fin de medir zonas, radios y circunferencias en el terreno.

Además, no solo permite que el usuario interactúe de manera fácil, sino que lo acerca a un sin número de posibilidades para el análisis en el campo de la ingeniería como lo es el ordenamiento territorial a través de imágenes, mapas, relieves y edificios en 3D; De igual forma se puede utilizar como herramienta de medición, áreas, latitudes, longitudes, cartografía y la importación de datos SIG.

6.3.2. SewerGEMS

SewerGEMS es un programa que crea y prepara modelos de alcantarillado, este simplifica el proceso de modelado con respecto a problemas de ingeniería de agua residuales, tales como mejorar capacidad y limitar desbordamientos. Esta herramienta de ingeniería avanzada proporcionada ayuda en diseñar, mantener y operar sistemas de

alcantarillado combinado y sanitario creando unos escenarios hipotéticos para entender mejor el sistema de aguas.



Bentley, SewerGEMS. (2011). Logo SewerGEMS [Imagen]. Recuperado de <https://www.bentley.com>

Imagen 14. SewerGEMS Logo Bentley

6.3.3. HEC-RAS



HEC-RAS. (2011). Logo HEC-RAS [Imagen]. Recuperado de <http://www.hec.usace.army.mil>

Imagen 15. HEC-RAS Logo

HEC-RAS (Hydrological Engineering Center – River Analysis System) Se trata de un software gratuito, por lo tanto, su uso se ha generalizado y se encuentra en un proceso constante de actualización al introducir continuas mejoras. Esto ha hecho que poco a poco la gran mayoría de administraciones hayan comenzado a exigir el estudio del impacto que puede representar sobre la dinámica de los cauces cualquier tipo de actuación con un modelo hidráulico suficientemente fiable, como es el caso de HEC-RAS.

Este programa de modelización hidráulica unidimensional compuesto por 4 tipos de análisis en ríos:

- Modelización de flujo en régimen permanente.
- Modelización de flujo en régimen no permanente.
- Modelización del transporte de sedimentos.
- Análisis de calidad de aguas.

Este programa nos permite simular flujos en cauces naturales o canales artificiales para determinar el nivel del agua por lo que su objetivo principal es realizar estudios de inundabilidad y determinar las zonas inundables.

Se compone de una serie de procedimientos, herramientas y utilidades diseñadas para procesar datos georreferenciados que permite realizar la preparación de los datos geométricos para importarlos en HEC-RAS.

6.4. MARCO HISTÓRICO

En la época colonial era tal la abundancia de agua encontrada por los conquistadores en la sabana que se convirtió en un factor determinante para la fundación del caserio de Teusaquillo, antiguo nombre de Santa Fe de Bogotá. La ciudad se localizó en ese entonces, entre los ríos San Francisco y San Agustín, de los cuales tomaban el agua sus moradores transportándola en vasijas y Múcuras hasta sus viviendas. Más tarde encontraron la gran riqueza paisajística y natural del San Cristóbal (Fucha), Construyendo allí las viviendas coloniales campestres de mayor porte santuario de la entonces Santa Fe de Bogotá. La cuenca del río Fucha en la Historia de Bogotá ha sido de gran importancia desde su fundación en el año 1538. En el año de 1891, el ingeniero Manuel de la Peña, realiza un aforo al río Fucha encontrando que el caudal presente era de $0.5\text{m}^3/\text{s}$, suficiente para abastecer las necesidades de la Bogotá de esos tiempos. El primer acueducto que tuvo Bogotá, el acueducto de Vitelma, se construyó en este río. (POMCA, FUCHA). Actualmente la cuenca hidrográfica del río Fucha es una de las cuencas más importantes de

la ciudad, dada su influencia directa e indirecta en 12 de las 20 localidades de la ciudad, áreas de participación en superficie por localidades en la cuenca del río Fucha, dentro de las que se encuentra, San Cristóbal, La Candelaria, Engativá, Teusaquillo, Fontibón, Puente Aranda, entre otras, en las que se ha gestado gran parte de la historia de este país. El afluente principal de la cuenca nace en los cerros orientales de Bogotá, estrella fluvial del páramo de Cruz Verde (con el nombre de río San Cristóbal, pero a partir de la Avenida Caracas se le denomina río Fucha). El canal San Francisco se muestra a cielo abierto desde la carrera 47 con calle 26 y recorre paralelo a la Avenida de la Esperanza de Sur a Norte hasta recibir el canal Boyacá para posteriormente desembocar en el río Fucha.

7. ETAPA DE EXPERIMENTACIÓN

7.1. DISEÑO METODOLÓGICO

7.1.1. Fase 1: Recolección de datos necesarios

Se recolecto la información de los 50 perfiles de la cuenca el fucha desde en las coordenadas 4°38'52.63" N – 74°07'43.60" O y 4°39'28.23" N – 74°08'12.99" O (Avenida Boyacá - Calle 16 y Avenida Ciudad de Cali – Calle 16b) en dirección al flujo del río, del programa SewerGEMS.

Adicionalmente se obtuvo el perfil correspondiente al modelo hidráulico de la cuenca el Fucha y el canal San Francisco.

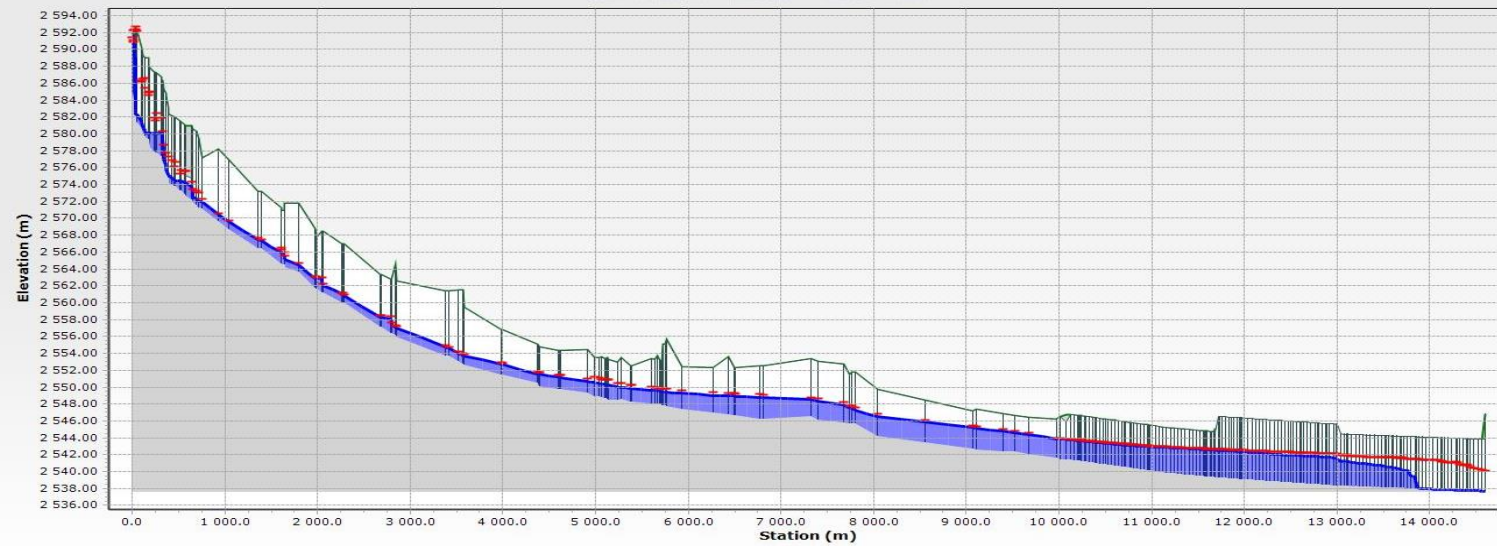


Gráfico 2. Perfil Canal Fucha

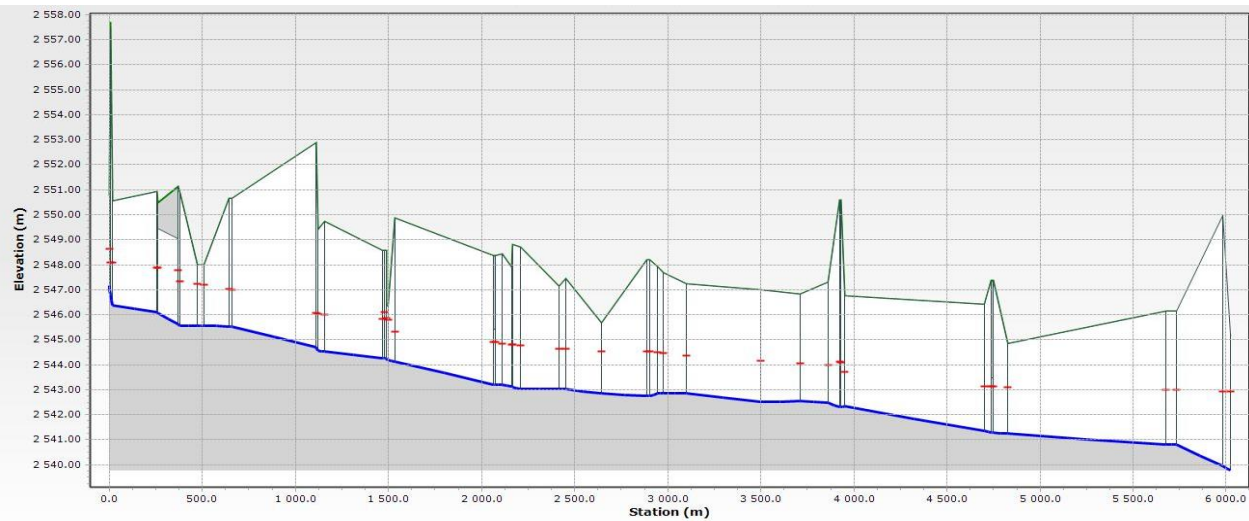
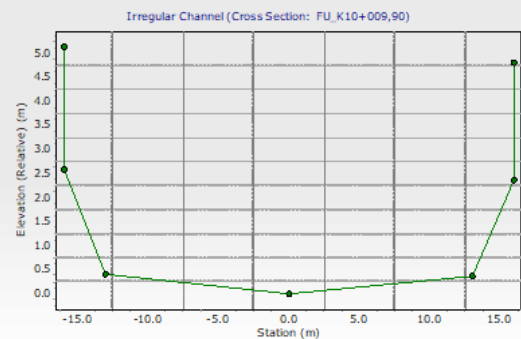


Gráfico 3. Perfil Canal San Francisco

EAAB-INGETEC, (2013). *Perfiles río Fucha y San Francisco* [Imagen]. Recuperado de Contrato No. 1-02-25500-1318-2013.

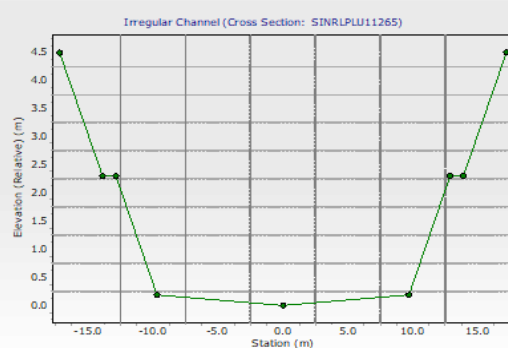
Irregular Channel (Cross Section: FU_K10+009,90)

Station (m)	Elevation (Relative) (m)
-0+16	5.13
-0+16	2.59
-0+13	0.40
0+00	0.00
0+13	0.37
0+16	2.36
0+16	4.81



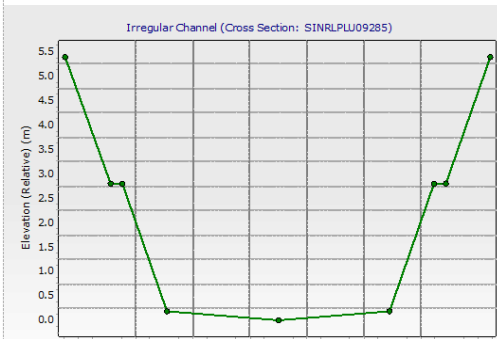
Irregular Channel (Cross Section: SINRLPLU11265)

Station (m)	Elevation (Relative) (m)
-0+17	4.50
-0+14	2.30
-0+13	2.30
-0+10	0.20
0+00	0.00
0+10	0.20
0+13	2.30
0+14	2.30
0+17	4.50



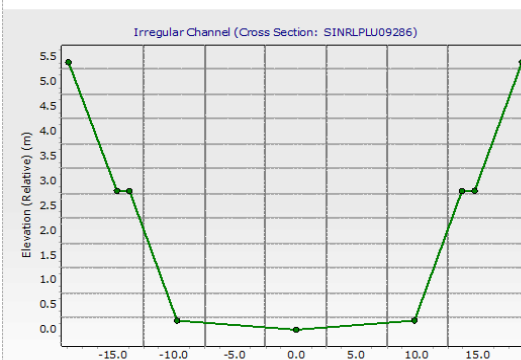
Irregular Channel (Cross Section: SINRLPLU09285)

Station (m)	Elevation (Relative) (m)
-0+19	5.40
-0+15	2.80
-0+14	2.80
-0+10	0.20
0+00	0.00
0+10	0.20
0+14	2.80
0+15	2.80
0+19	5.40



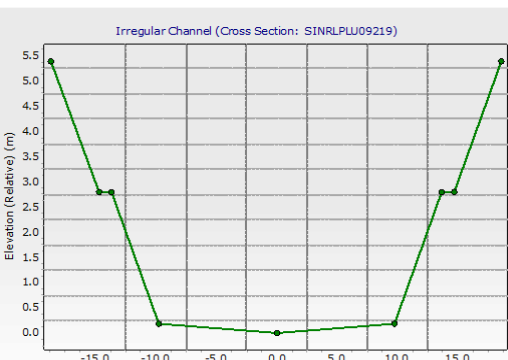
Irregular Channel (Cross Section: SINRLPLU09286)

Station (m)	Elevation (Relative) (m)
-0+19	5.40
-0+15	2.80
-0+14	2.80
-0+10	0.20
0+00	0.00
0+10	0.20
0+14	2.80
0+15	2.80
0+19	5.40



Irregular Channel (Cross Section: SINRLPLU09219)

Station (m)	Elevation (Relative) (m)
-0+19	5.40
-0+15	2.80
-0+14	2.80
-0+10	0.20
0+00	0.00
0+10	0.20
0+14	2.80
0+15	2.80
0+19	5.40



Irregular Channel (Cross Section: SINRLPLU09241)

Station (m)	Elevation (Relative) (m)
-0+19	5.40
-0+15	2.80
-0+14	2.80
-0+10	0.20
0+00	0.00
0+10	0.20
0+14	2.80
0+15	2.80
0+19	5.40

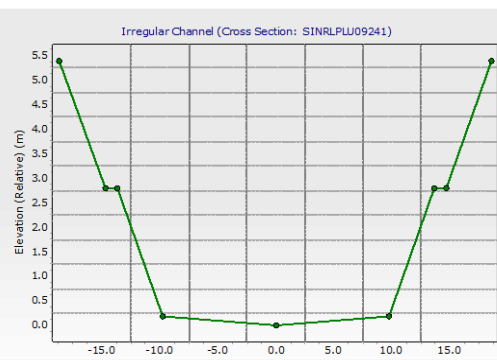
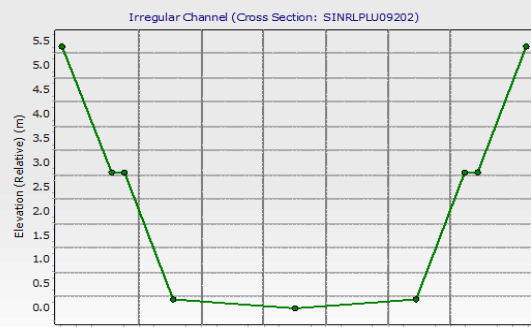


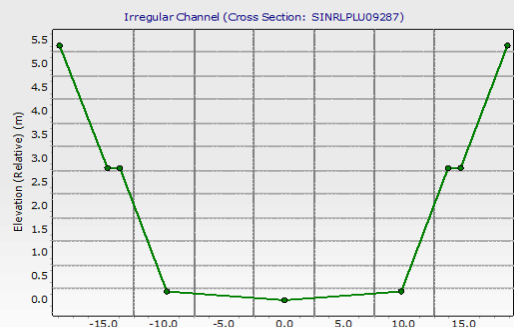
Grafico 4. Secciones transversales río Fucha

EAAB-INGETEC, (2013). Secciones transversales río Fucha [Imagen]. Recuperado de Contrato No. 1-02-25500-1318-2013.

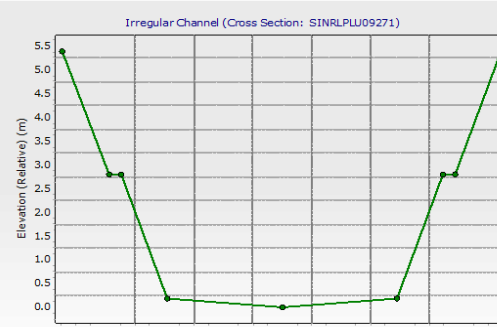
Irregular Channel (Cross Section: SINRLPU09202)	
Station (m)	Elevation (Relative) (m)
-0+19	5.40
-0+15	2.80
-0+14	2.80
-0+10	0.20
0+00	0.00
0+10	0.20
0+14	2.80
0+15	2.80
0+19	5.40



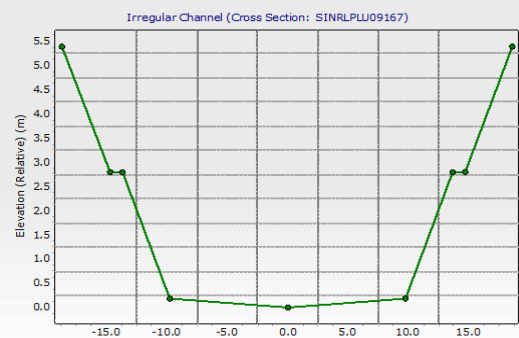
Irregular Channel (Cross Section: SINRLPU09287)	
Station (m)	Elevation (Relative) (m)
-0+19	5.40
-0+15	2.80
-0+14	2.80
-0+10	0.20
0+00	0.00
0+10	0.20
0+14	2.80
0+15	2.80
0+19	5.40



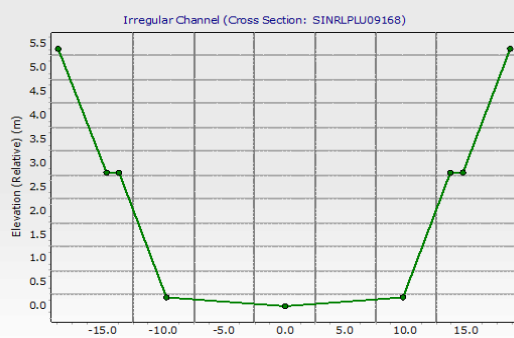
Irregular Channel (Cross Section: SINRLPU09271)	
Station (m)	Elevation (Relative) (m)
-0+19	5.40
-0+15	2.80
-0+14	2.80
-0+10	0.20
0+00	0.00
0+10	0.20
0+14	2.80
0+15	2.80
0+19	5.40



Irregular Channel (Cross Section: SINRLPU09167)	
Station (m)	Elevation (Relative) (m)
-0+19	5.40
-0+15	2.80
-0+14	2.80
-0+10	0.20
0+00	0.00
0+10	0.20
0+14	2.80
0+15	2.80
0+19	5.40



Irregular Channel (Cross Section: SINRLPU09168)	
Station (m)	Elevation (Relative) (m)
-0+19	5.40
-0+15	2.80
-0+14	2.80
-0+10	0.20
0+00	0.00
0+10	0.20
0+14	2.80
0+15	2.80
0+19	5.40



Irregular Channel (Cross Section: SINRLPU09240)	
Station (m)	Elevation (Relative) (m)
-0+19	5.40
-0+15	2.80
-0+14	2.80
-0+10	0.20
0+00	0.00
0+10	0.20
0+14	2.80
0+15	2.80
0+19	5.40

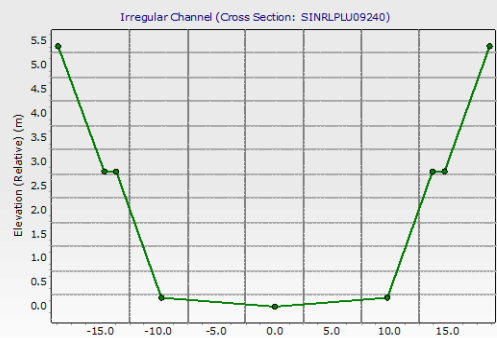


Grafico 5. Secciones transversales río Fucha

EAAB-INGETEC, (2013). Secciones transversales río Fucha [Imagen]. Recuperado de Contrato No. 1-02-25500-1318-2013.

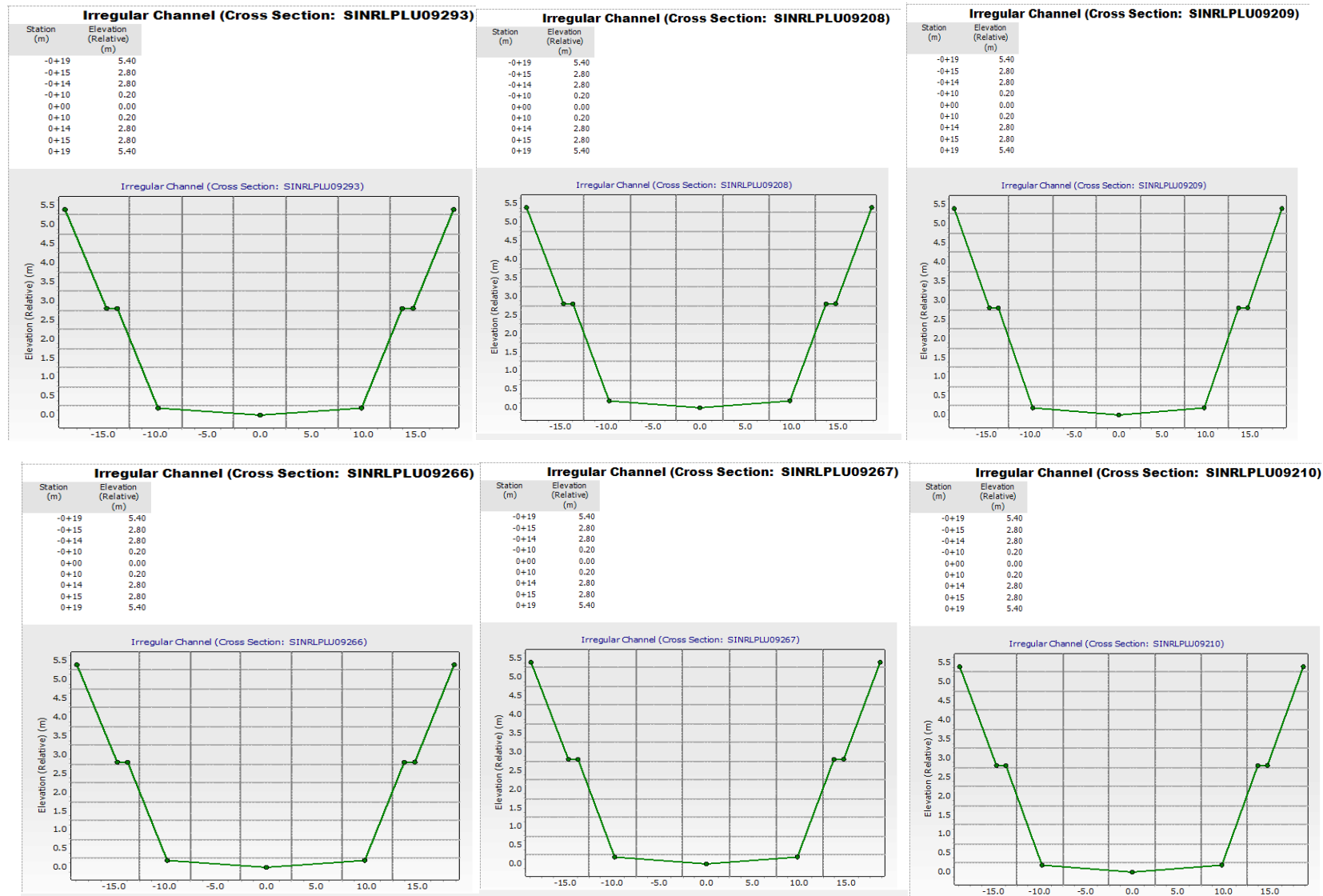
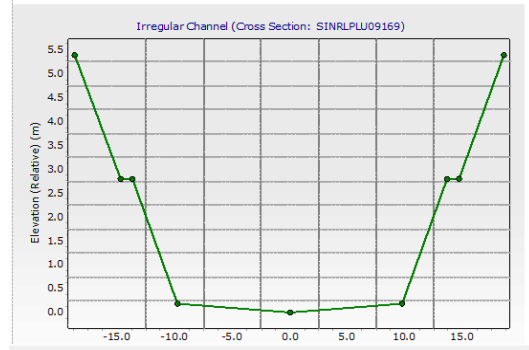


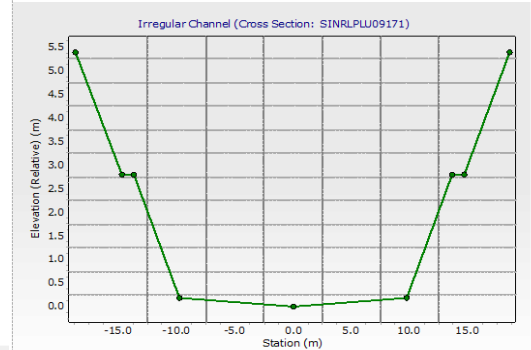
Grafico 6. Secciones transversales río Fucha

EAAB-INGETEC, (2013). *Secciones transversales río Fucha* [Imagen]. Recuperado de Contrato No. 1-02-25500-1318-2013.

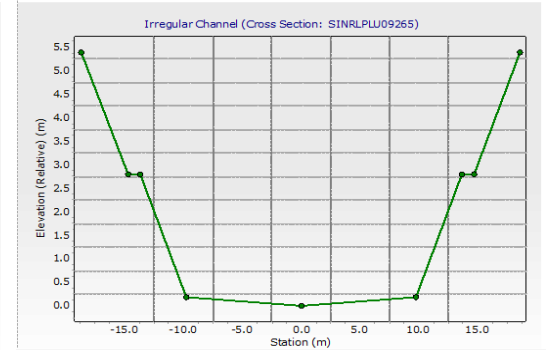
Irregular Channel (Cross Section: SINRLPLU09169)	
Station (m)	Elevation (Relative) (m)
-0+19	5.40
-0+15	2.80
-0+14	2.80
-0+10	0.20
0+00	0.00
0+10	0.20
0+14	2.80
0+15	2.80
0+19	5.40



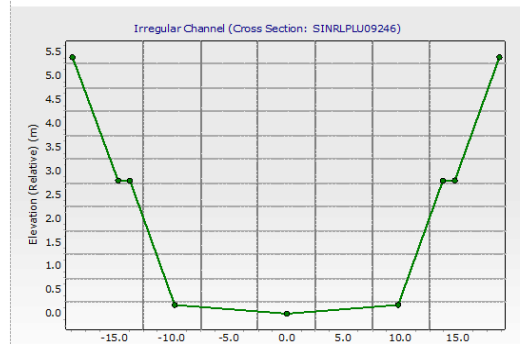
Irregular Channel (Cross Section: SINRLPLU09171)	
Station (m)	Elevation (Relative) (m)
-0+19	5.40
-0+15	2.80
-0+14	2.80
-0+10	0.20
0+00	0.00
0+10	0.20
0+14	2.80
0+15	2.80
0+19	5.40



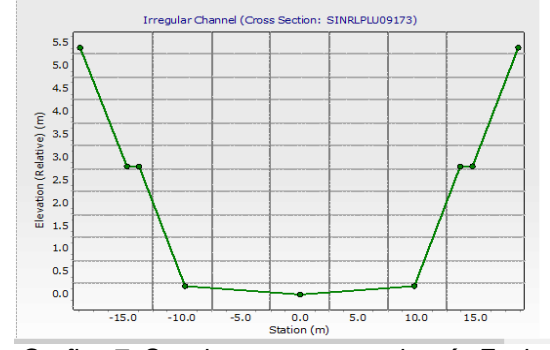
Irregular Channel (Cross Section: SINRLPLU09265)	
Station (m)	Elevation (Relative) (m)
-0+19	5.40
-0+15	2.80
-0+14	2.80
-0+10	0.20
0+00	0.00
0+10	0.20
0+14	2.80
0+15	2.80
0+19	5.40



Irregular Channel (Cross Section: SINRLPLU09246)	
Station (m)	Elevation (Relative) (m)
-0+19	5.40
-0+15	2.80
-0+14	2.80
-0+10	0.20
0+00	0.00
0+10	0.20
0+14	2.80
0+15	2.80
0+19	5.40



Irregular Channel (Cross Section: SINRLPLU09173)	
Station (m)	Elevation (Relative) (m)
-0+19	5.40
-0+15	2.80
-0+14	2.80
-0+10	0.20
0+00	0.00
0+10	0.20
0+14	2.80
0+15	2.80
0+19	5.40



Irregular Channel (Cross Section: SINRLPLU09288)	
Station (m)	Elevation (Relative) (m)
-0+19	5.40
-0+15	2.80
-0+14	2.80
-0+10	0.20
0+00	0.00
0+10	0.20
0+14	2.80
0+15	2.80
0+19	5.40

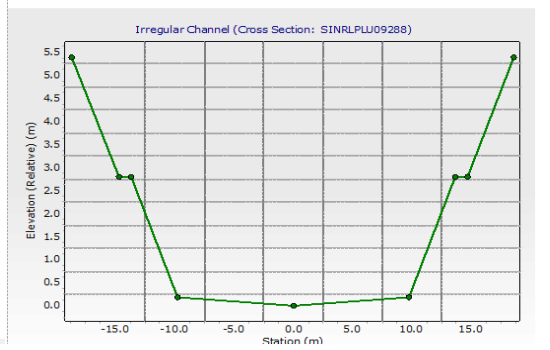


Grafico 7. Secciones transversales río Fucha.

EAAB-INGETEC, (2013). Secciones transversales río Fucha [Imagen]. Recuperado de Contrato No. 1-02-25500-1318-2013.

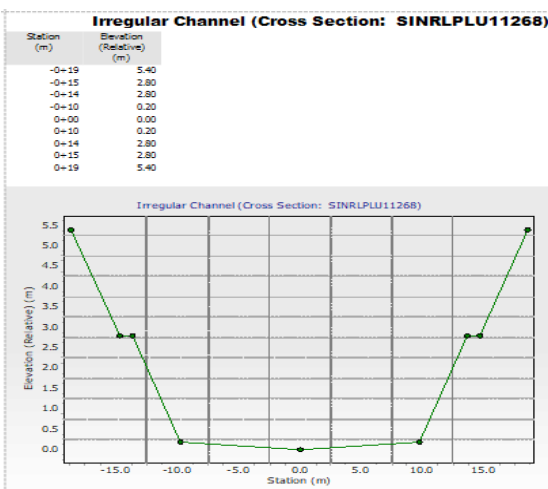
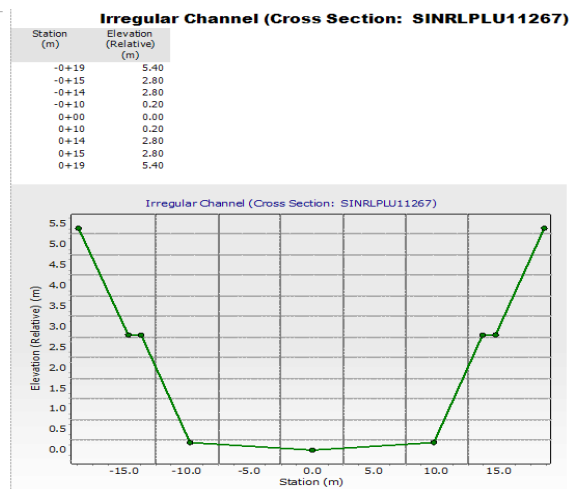
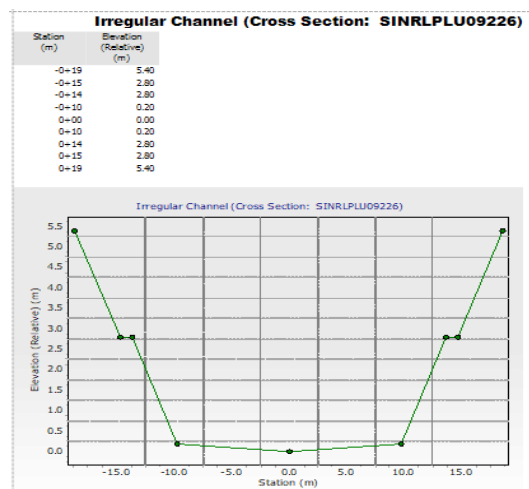
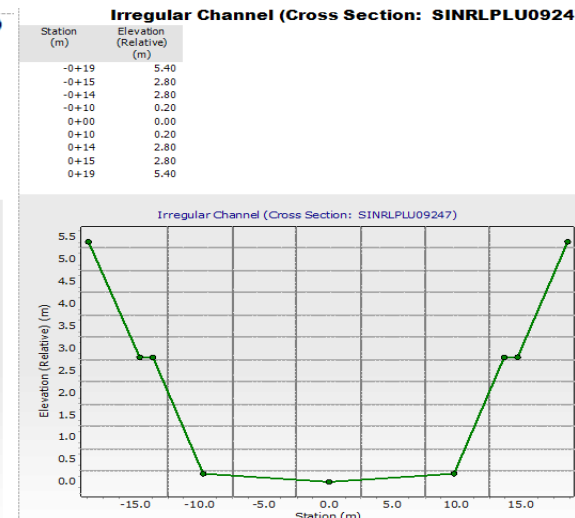
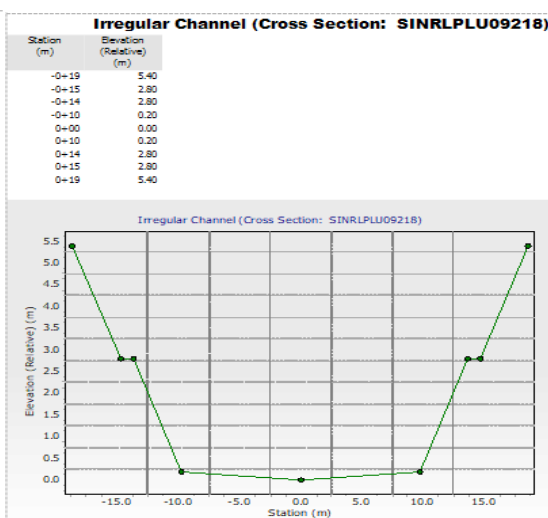
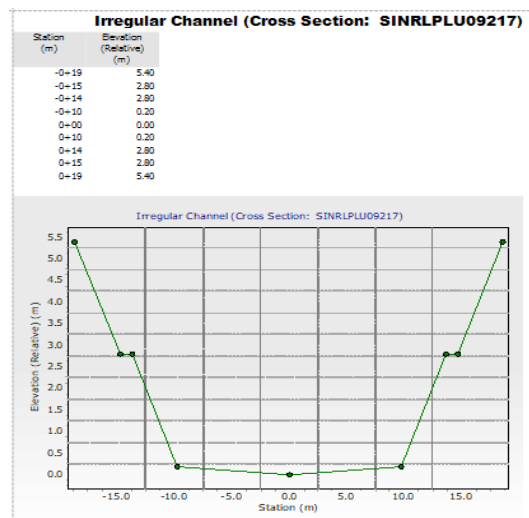
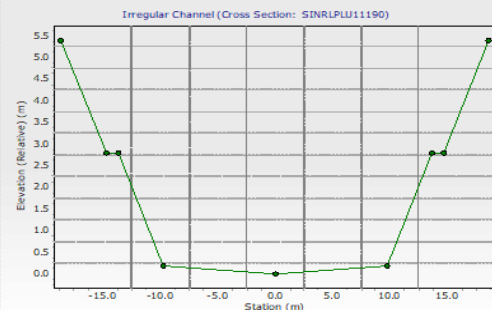


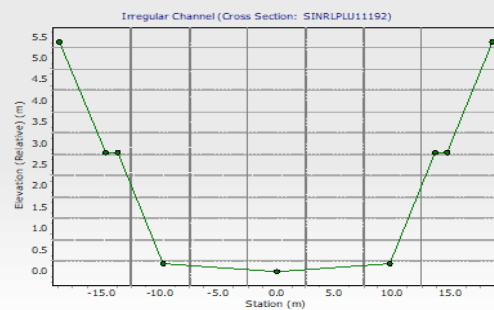
Grafico 8. Secciones transversales río Fucha.

EAAB-INGETEC, (2013). Secciones transversales río Fucha [Imagen]. Recuperado de Contrato No. 1-02-25500-1318-2013.

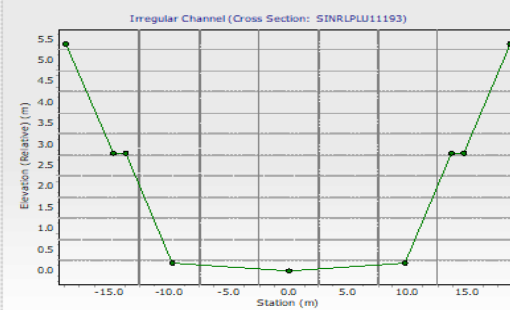
Irregular Channel (Cross Section: SINRLPLU11190)	
Station (m)	Elevation (Relative) (m)
-0+19	5.40
-0+15	2.80
-0+14	2.80
-0+10	0.20
0+00	0.00
0+10	0.20
0+14	2.80
0+15	2.80
0+19	5.40



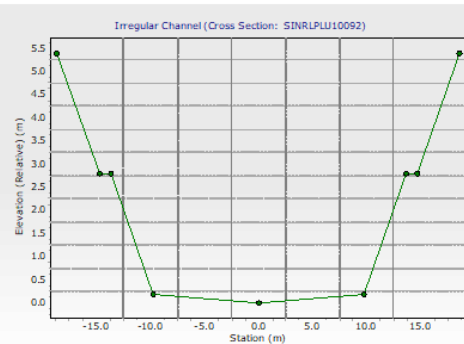
Irregular Channel (Cross Section: SINRLPLU11192)	
Station (m)	Elevation (Relative) (m)
-0+19	5.40
-0+15	2.80
-0+14	2.80
-0+10	0.20
0+00	0.00
0+10	0.20
0+14	2.80
0+15	2.80
0+19	5.40



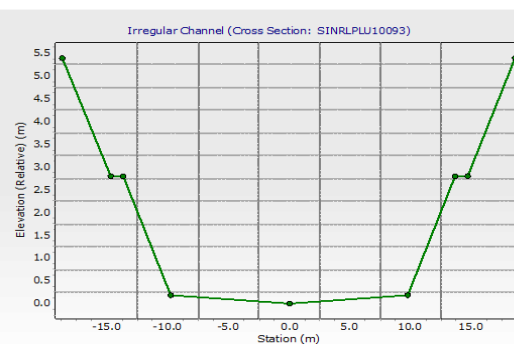
Irregular Channel (Cross Section: SINRLPLU11193)	
Station (m)	Elevation (Relative) (m)
-0+19	5.40
-0+15	2.80
-0+14	2.80
-0+10	0.20
0+00	0.00
0+10	0.20
0+14	2.80
0+15	2.80
0+19	5.40



Irregular Channel (Cross Section: SINRLPLU10092)	
Station (m)	Elevation (Relative) (m)
-0+19	5.40
-0+15	2.80
-0+14	2.80
-0+10	0.20
0+00	0.00
0+10	0.20
0+14	2.80
0+15	2.80
0+19	5.40



Irregular Channel (Cross Section: SINRLPLU10093)	
Station (m)	Elevation (Relative) (m)
-0+19	5.40
-0+15	2.80
-0+14	2.80
-0+10	0.20
0+00	0.00
0+10	0.20
0+14	2.80
0+15	2.80
0+19	5.40



Irregular Channel (Cross Section: SINRLPLU10140)	
Station (m)	Elevation (Relative) (m)
-0+19	5.40
-0+15	2.80
-0+14	2.80
-0+10	0.20
0+00	0.00
0+10	0.20
0+14	2.80
0+15	2.80
0+19	5.40

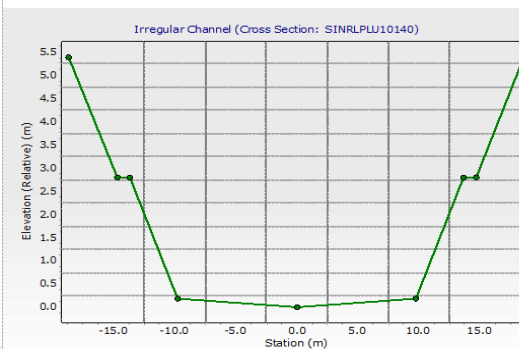
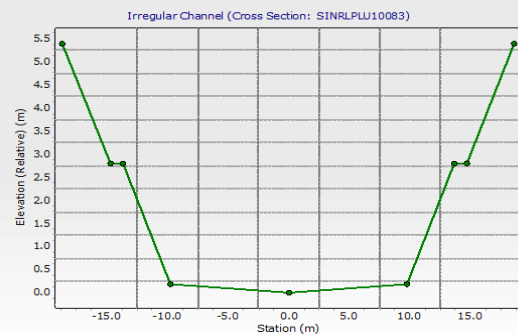


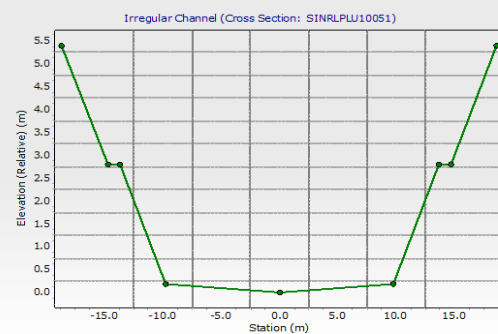
Grafico 9. Secciones transversales río Fucha.

EAAB-INGETEC, (2013). Secciones transversales río Fucha [Imagen]. Recuperado de Contrato No. 1-02-25500-1318-2013.

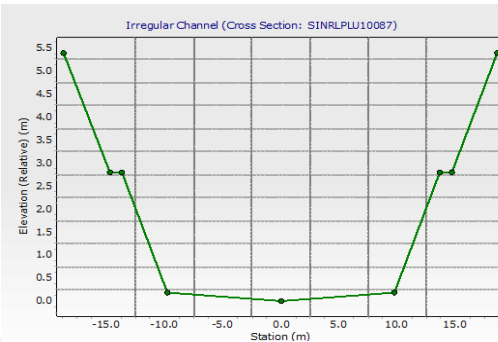
Irregular Channel (Cross Section: SINRLPLU10083)	
Station (m)	Elevation (Relative) (m)
-0+19	5.40
-0+15	2.80
-0+14	2.80
-0+10	0.20
0+00	0.00
0+10	0.20
0+14	2.80
0+15	2.80
0+19	5.40



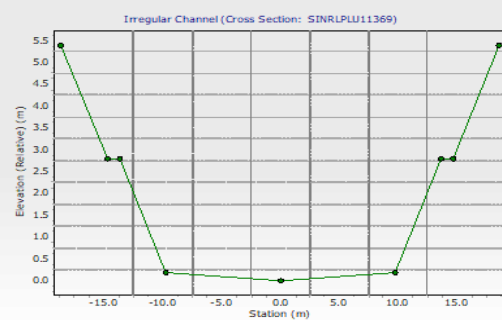
Irregular Channel (Cross Section: SINRLPLU10051)	
Station (m)	Elevation (Relative) (m)
-0+19	5.40
-0+15	2.80
-0+14	2.80
-0+10	0.20
0+00	0.00
0+10	0.20
0+14	2.80
0+15	2.80
0+19	5.40



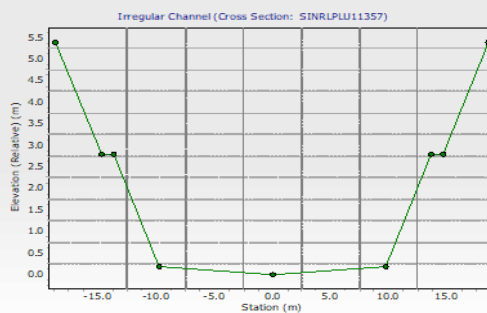
Irregular Channel (Cross Section: SINRLPLU10087)	
Station (m)	Elevation (Relative) (m)
-0+19	5.40
-0+15	2.80
-0+14	2.80
-0+10	0.20
0+00	0.00
0+10	0.20
0+14	2.80
0+15	2.80
0+19	5.40



Irregular Channel (Cross Section: SINRLPLU11369)	
Station (m)	Elevation (Relative) (m)
-0+19	5.40
-0+15	2.80
-0+14	2.80
-0+10	0.20
0+00	0.00
0+10	0.20
0+14	2.80
0+15	2.80
0+19	5.40



Irregular Channel (Cross Section: SINRLPLU11357)	
Station (m)	Elevation (Relative) (m)
-0+19	5.40
-0+15	2.80
-0+14	2.80
-0+10	0.20
0+00	0.00
0+10	0.20
0+14	2.80
0+15	2.80
0+19	5.40



Irregular Channel (Cross Section: SINRLPLU11330)	
Station (m)	Elevation (Relative) (m)
-0+19	5.40
-0+15	2.80
-0+14	2.80
-0+10	0.20
0+00	0.00
0+10	0.20
0+14	2.80
0+15	2.80
0+19	5.40

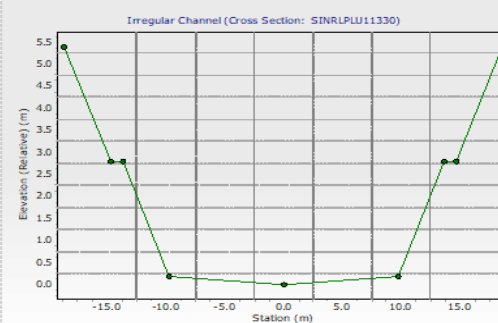


Grafico 10. Secciones transversales río Fucha.

EAAB-INGETEC, (2013). Secciones transversales río Fucha [Imagen]. Recuperado de Contrato No. 1-02-25500-1318-2013.

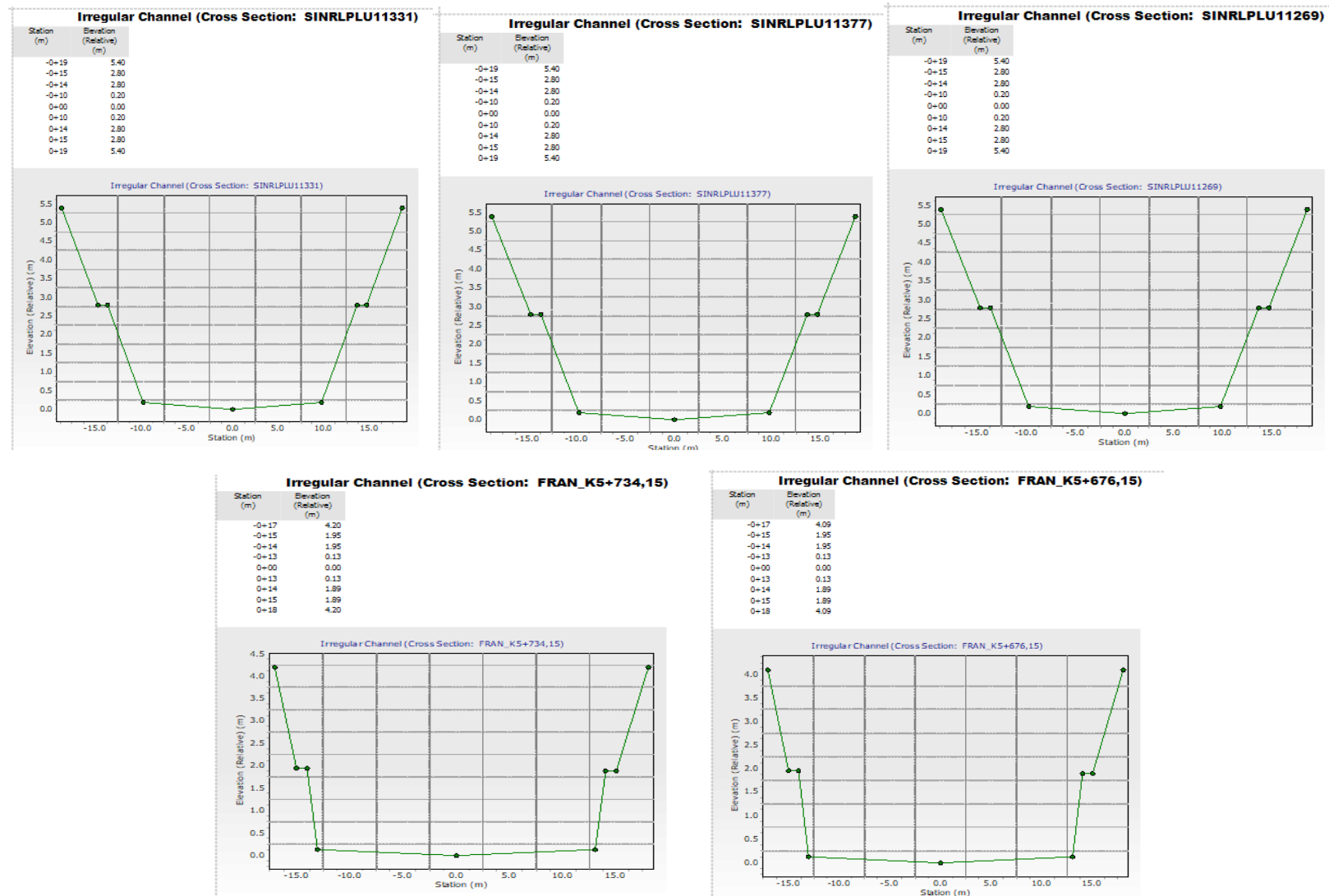


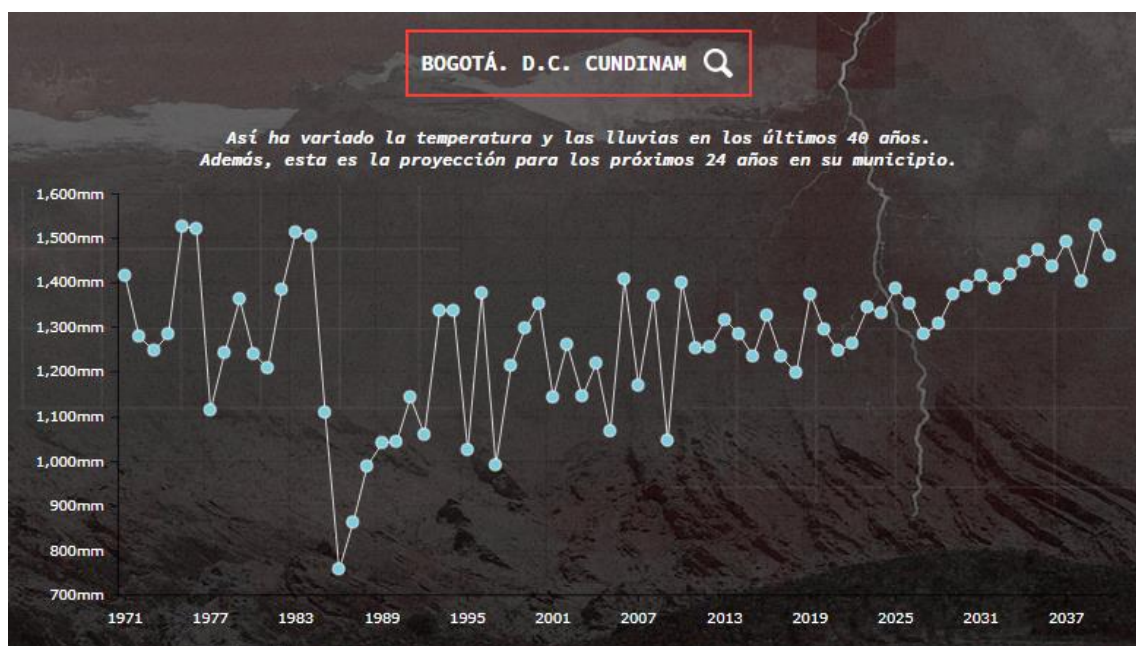
Grafico 11. Secciones transversales río Fucha.

EAAB-INGETEC, (2013). Secciones transversales río Fucha y San Francisco [Imagen]. Recuperado de Contrato No. 1-02-25500-1318-2013.

7.1.2. Fase 2: Parámetros de caudales y escenarios climáticos

Se obtuvo la precipitación máxima para la ciudad de Bogotá desde 1971 al 2017.

Según el IDEAM, se prevé que para la ciudad de Bogotá en los próximos dos decenios tendrá un incremento de la precipitación del 8.9%, según lo establecido en el marco de la tercera comunicación nacional que entrega al país los resultados de los nuevos escenarios de cambio climático para Colombia 2011-2100, un ejercicio de más de dos años de trabajo por parte del IDEAM, que sigue las más recientes metodologías propuestas por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático - IPCC, como la utilización de la información científica para estrechar la relación existente entre las dinámicas climáticas y sus relaciones con el ciclo del agua, el cambio de los usos del suelo y las actividades socio-económicas para definir los escenarios climáticos que indican como será afectado el país por estos escenarios.



Franco, O. (2011). Nuevos escenarios de cambio climático para Colombia 2011 - 2100 [Imagen]. Recuperado de http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022964/documento_nacional_departamental.pdf.

Grafico 12. Hidrograma precipitación máxima anual.

Con las precipitaciones máximas se procede a introducir los datos de los caudales máximos en un período de retorno dado, calculado de la siguiente manera:

Se halló la probabilidad de excesos, la media, la desviación estándar, coeficiente de asimetría de la cuenca, coeficiente de variación y finalmente por el método de Gumbel los caudales para los tiempos de retorno.

DATO	AÑO	CAUDAL MAXIMO ANUAL (m³/s)	CAUDAL MAXIMO ANUAL DE MAYOR A MENOR (m³/s)	# DE ORDEN	P>X	F(x)	X (GUMBEL)
1	1971	1.416	1.529	1	0.014	0.986	1.438
2	1972	1.279	1.528	2	0.028	0.972	1.343
3	1973	1.248	1.521	3	0.042	0.958	1.287
4	1974	1.285	1.515	4	0.056	0.944	1.247
5	1975	1.528	1.506	5	0.070	0.930	1.216
6	1976	1.521	1.494	6	0.085	0.915	1.190
7	1977	1.114	1.473	7	0.099	0.901	1.168
8	1978	1.242	1.460	8	0.113	0.887	1.149
9	1979	1.363	1.449	9	0.127	0.873	1.132
10	1980	1.241	1.437	10	0.141	0.859	1.116
11	1981	1.210	1.420	11	0.155	0.845	1.102
12	1982	1.385	1.418	12	0.169	0.831	1.090
13	1983	1.515	1.416	13	0.183	0.817	1.078
14	1984	1.506	1.409	14	0.197	0.803	1.066
15	1985	1.108	1.403	15	0.211	0.789	1.056
16	1986	0.757	1.402	16	0.225	0.775	1.046
17	1987	0.863	1.394	17	0.239	0.761	1.037
18	1988	0.989	1.388	18	0.254	0.746	1.028
19	1989	1.042	1.387	19	0.268	0.732	1.019
20	1990	1.043	1.385	20	0.282	0.718	1.011
21	1991	1.143	1.378	21	0.296	0.704	1.003
22	1992	1.060	1.378	22	0.310	0.690	0.995
23	1993	1.339	1.375	23	0.324	0.676	0.988
24	1994	1.378	1.374	24	0.338	0.662	0.981
25	1995	1.025	1.372	25	0.352	0.648	0.974
26	1996	1.378	1.363	26	0.366	0.634	0.967
27	1997	0.991	1.353	27	0.380	0.620	0.961
28	1998	1.215	1.352	28	0.394	0.606	0.954
29	1999	1.297	1.345	29	0.408	0.592	0.948

DATO	AÑO	CAUDAL MAXIMO ANUAL (m³/s)	CAUDAL MAXIMO ANUAL DE MAYOR A MENOR (m³/s)	# DE ORDEN	P>X	F(x)	X (GUMBEL)
30	2000	1.353	1.339	30	0.423	0.577	0.942
31	2001	1.144	1.332	31	0.437	0.563	0.936
32	2002	1.263	1.326	32	0.451	0.549	0.930
33	2003	1.145	1.317	33	0.465	0.535	0.925
34	2004	1.221	1.309	34	0.479	0.521	0.919
35	2005	1.068	1.297	35	0.493	0.507	0.913
36	2006	1.409	1.295	36	0.507	0.493	0.908
37	2007	1.170	1.286	37	0.521	0.479	0.902
38	2008	1.372	1.286	38	0.535	0.465	0.897
39	2009	1.046	1.285	39	0.549	0.451	0.892
40	2010	1.402	1.279	40	0.563	0.437	0.886
41	2011	1.254	1.265	41	0.577	0.423	0.881
42	2012	1.256	1.263	42	0.592	0.408	0.876
43	2013	1.317	1.256	43	0.606	0.394	0.871
44	2014	1.286	1.254	44	0.620	0.380	0.866
45	2015	1.236	1.248	45	0.634	0.366	0.860
46	2016	1.326	1.247	46	0.648	0.352	0.855
47	2017	1.235	1.242	47	0.662	0.338	0.850
48	2018	1.198	1.241	48	0.676	0.324	0.845
49	2019	1.374	1.236	49	0.690	0.310	0.839
50	2020	1.295	1.235	50	0.704	0.296	0.834
51	2021	1.247	1.221	51	0.718	0.282	0.829
52	2022	1.265	1.215	52	0.732	0.268	0.823
53	2023	1.345	1.210	53	0.746	0.254	0.818
54	2024	1.332	1.198	54	0.761	0.239	0.813
55	2025	1.388	1.170	55	0.775	0.225	0.807
56	2026	1.352	1.145	56	0.789	0.211	0.801
57	2027	1.286	1.144	57	0.803	0.197	0.795
58	2028	1.309	1.143	58	0.817	0.183	0.789
59	2029	1.375	1.114	59	0.831	0.169	0.783
60	2030	1.394	1.108	60	0.845	0.155	0.776
61	2031	1.418	1.068	61	0.859	0.141	0.770

DATO	AÑO	CAUDAL MAXIMO ANUAL (m³/s)	CAUDAL MAXIMO ANUAL DE MAYOR A MENOR (m³/s)	# DE ORDEN	P>X	F(x)	X (GUMBEL)
62	2032	1.387	1.060	62	0.873	0.127	0.763
63	2033	1.420	1.046	63	0.887	0.113	0.755
64	2034	1.449	1.043	64	0.901	0.099	0.747
65	2035	1.473	1.042	65	0.915	0.085	0.738
66	2036	1.437	1.025	66	0.930	0.070	0.729
67	2037	1.494	0.991	67	0.944	0.056	0.718
68	2038	1.403	0.989	68	0.958	0.042	0.705
69	2039	1.529	0.863	69	0.972	0.028	0.688
70	2040	1.460	0.757	70	0.986	0.014	0.664

Tabla 4. Cálculo de parámetros estadísticos principales

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	
Desviación Estándar (m³/s)	0.161
Sn:	1.185
α : (m³/s)	0.136
Media: (m³/s)	1.280
yn:	0.555
μ :	0.861
No de datos:	70

Tabla 5. Cálculo de parámetros estadísticos principales

A partir de la información anterior se calculó los caudales máximos para cada uno de los tiempos de retornos seleccionados.

CAUDALES MÁXIMOS			
T (años)	P (1/T)	F(X) (1-P)	Q Max (T)
5	0.200	0.800	1.064 m³/s
25	0.040	0.960	1.294 m³/s
50	0.020	0.980	1.390 m³/s
100	0.010	0.990	1.484 m³/s

Tabla 6. Estimación de los caudales para diferentes tiempos de retorno

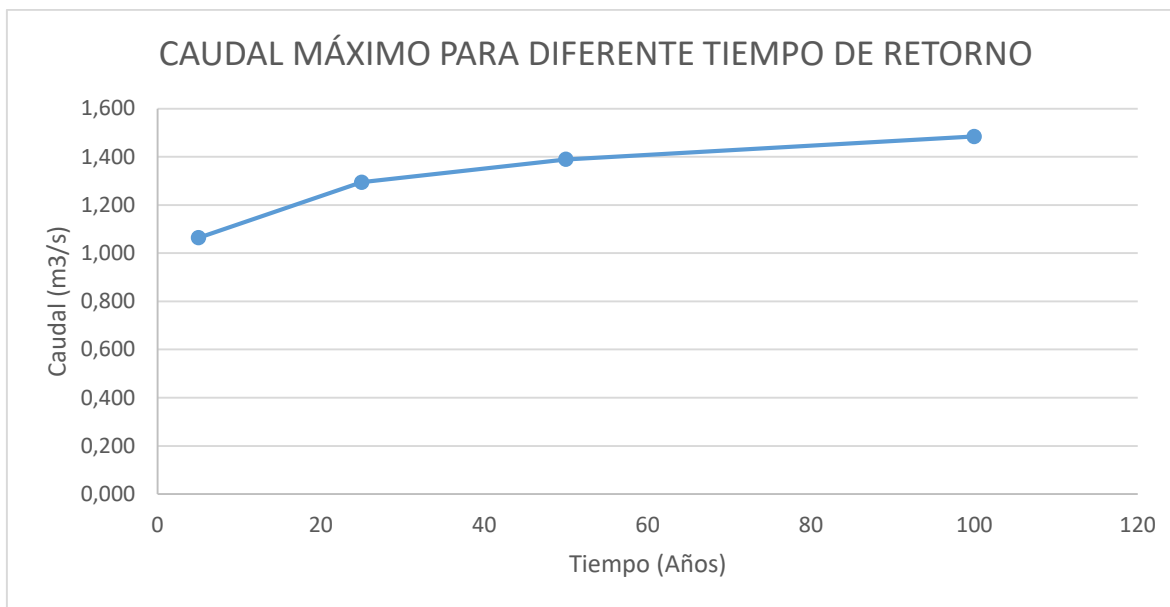


Grafico 13. Caudal máximo en tiempo de Retorno

Para el tramo en estudio del río Fucha, el cual recibe los caudales sanitarios, pluviales y combinados de los interceptores izquierdos del Fucha – IIF, Boyacá, del sur y Kennedy.

Los interceptores Fucha izquierdo y Boyacá transportan todo el caudal resultante del drenaje de las subcuencas aguas arriba.

Como resultado del diagnóstico, se obtiene que para la situación actual, llegara a la intersección inicial del tramo un caudal medio de 4,96 m³/s y un máximo horario incluyendo infiltraciones de 13,44 m³/s.

Para el escenario de tiempo de lluvias con funcionamiento de alivios en las subcuencas combinadas aguas arriba, el interceptor Fucha Izquierdo entrega un caudal diluido de alrededor de 10.6 m³/s y para el interceptor Boyacá un caudal diluido de alrededor de 8.8 m³/s.

CAUDAL POR INTERCEPTOR			
UBICACIÓN	Q medio acum. (m3/s)	QMH (m3/s)	Q acum. Tiempo de lluvias (m3/s)
Interceptor Fucha Izquierdo	1.78	4.5	10.57
Interceptor Boyacá	2.85	7.36	19.36
Interceptor Sur	3.29	9.23	21.33
Interceptor Kennedy	3.59	10.03	21.95

Tabla 7. Caudales medios acumulados y caudales máximos horarios

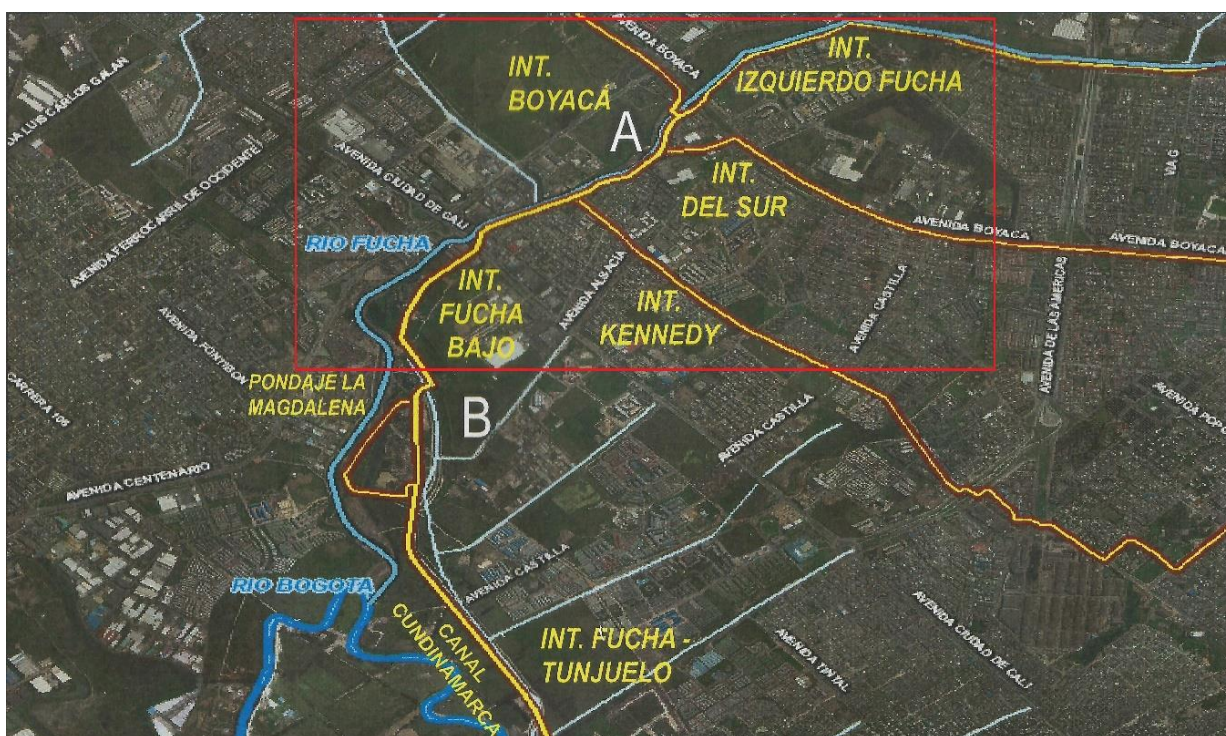


Imagen 16. Localización de interceptores (Tramo 4: Av. Boyacá – Av. Ciudad de Cali)

ESTACIÓN EL DELIRIO - P max 24 horas.							
No Dato	Año	Anual	P max corregida	No Dato	Año	Anual	P max corregida
1	1933	48.3	54.58	44	1976	51.1	57.74
2	1934	47	53.11	45	1977	43.6	49.27
3	1935	35.6	40.23	46	1978	44.8	50.62
4	1936	48.3	54.58	47	1979	38.4	43.39
5	1937	50	56.5	48	1980	40.8	46.1
6	1938	51	57.63	49	1981	39.5	44.64
7	1939	55.1	62.26	50	1982	36	40.68
8	1940	50	56.5	51	1983	28.3	31.98
9	1941	51.3	57.97	52	1984	37	41.81
10	1942	42.5	48.03	53	1985	36	40.68
11	1943	29.4	33.22	54	1986	52.6	59.44
12	1944	51.5	58.2	55	1987	36.2	40.91
13	1945	50.7	57.29	56	1988	33.2	37.52
14	1946	66.5	75.15	57	1989	31.2	35.26
15	1947	35.8	40.45	58	1990	36.8	41.58
16	1948	31	35.03	59	1991	43.6	49.27
17	1949	35	39.55	60	1992	44.5	50.29
18	1950	44.4	50.17	61	1993	39.6	44.75
19	1951	45.9	51.87	62	1994	48.7	55.03
20	1952	54.6	61.7	63	1995	41	46.33
21	1953	42.9	48.48	64	1996	57	64.41
22	1954	66	74.58	65	1997	65	73.45
23	1955	40.7	45.99	66	1998	48	54.24
24	1956	32.3	36.5	67	1999	64	72.32
25	1957	40.1	45.31	68	2000	49.1	55.48
26	1958	35.1	39.66	69	2001	38.5	43.51
27	1959	50.8	57.4	70	2002	48.9	55.26
28	1960	44.7	50.51	71	2003	51.7	58.42
29	1961	67.9	76.73	72	2004	40.3	45.54
30	1962	60.2	68.03	73	2005	57.5	64.98
31	1963	44.7	50.51	74	2006	84.8	95.82
32	1964	43.5	49.16	75	2007	54.5	61.59
33	1965	45.9	51.87	76	2008	58.2	65.77
34	1966	115.6	130.63	77	2009	73.2	82.72
35	1967	56.2	63.51	78	2010	45.5	51.42
36	1968	45.8	51.75	79	2011	63.6	71.78
37	1969	40.5	45.77	80	2012	42.1	47.57
38	1970	71	80.23	81	2013	88.3	99.78
39	1971	43.8	49.49	82	2014	39	44.07
40	1972	59.1	66.78	Promedio		50.56	57.13
41	1973	43.8	49.49	Desviación		16.4	18.53
42	1974	102.8	116.16	P Max		115.6	130.6
43	1975	56.6	63.96	P Min		29.4	33.2

Tabla 8. Precipitación máxima den 24 horas de la estación El Delirio.

ESTACIÓN EL DELIRIO - P Max 24 horas.													
CURVAS IDF - ESTACIÓN EL DELIRIO													
Tr (años)	F(x)= 1 - 1/Tr	b=-ln(-ln(Fx)))	P Max 24 horas en mm	K	P (15´)	P (30')	P(45')	P (1hr)	P(2hr)	P(3hr)	P(4hr)	P(5hr)	P(6hr)
5	0.5	1.49994	69.19	23.905	16.210	22.466	23.319	28.438	42.273	46.783	50.272	53.156	55.635
25	0.96	3.19853	93.41	24.678	19.559	27.108	28.137	34.314	51.008	56.449	60.659	64.139	67.130
50	0.98	3.90194	103.44	24.345	21.207	29.392	30.508	37.205	55.305	61.205	65.769	69.542	72.785
100	0.99	4.60015	113.4	23.776	22.993	31.868	33.078	40.339	59.965	66.362	71.310	75.401	78.918
Prec= 94.86 + b / 0.08485			K prom= 24.176										
Tabla de Intensidades en mm/hr , para diferentes duraciones													
Tr (años)	P (15´)	P (30')	P(45')	P (1hr)	P(2hr)	P(3hr)	P(4hr)	P(5hr)	P(6hr)				
	0.25	0.75	0.75	1	2	3	4	5	6				
5	64.84	44.93	31.09	28.438	21.137	15.594	12.568	10.631	9.272				
25	78.24	54.22	37.52	34.314	25.504	18.816	15.165	12.828	11.188				
50	84.83	58.78	40.68	37.205	27.653	20.402	16.442	13.909	12.131				
100	91.97	63.74	44.1	40.339	29.982	22.121	17.828	15.080	13.153				

Tabla 9. Cálculo de curvas IDF en la estación El Delirio

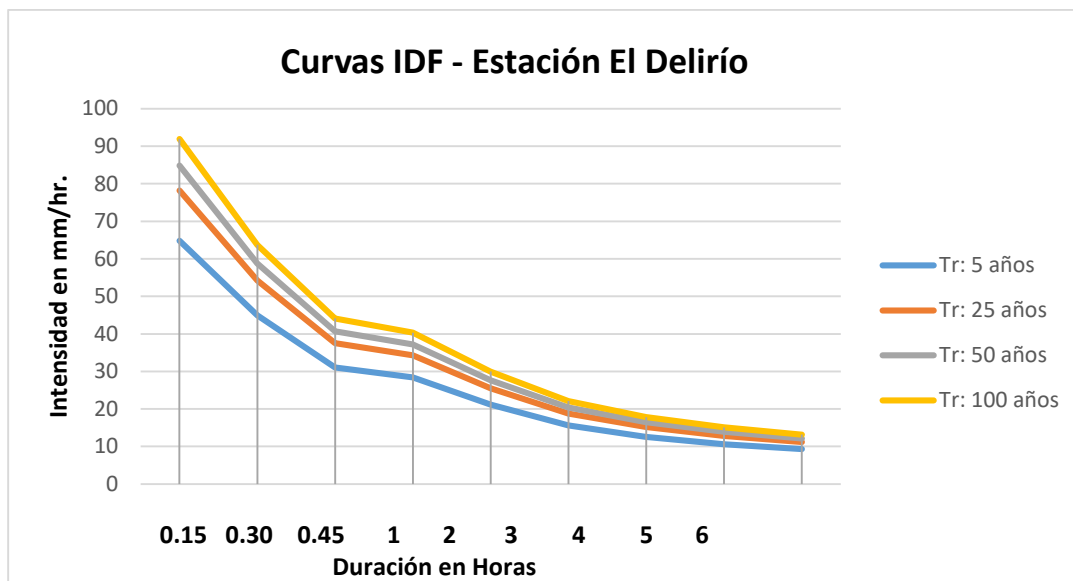


Gráfico 14. Curvas IDF estación El Delirio

Con los datos de la estación el Delirio se conformó la curva IDF anteriormente mostrada, con esta curva se determinaron las precipitaciones que se generarían con los diferentes tiempos de retorno con los cuales evaluaría los resultados implementados en el programa Hec-Ras, permitiendo tener en cuenta el aumento de precipitación por la posible afectación del cambio climático en el canal del río Fucha.

Esto nos abre camino para el análisis del comportamiento en los diferentes períodos de retorno.

En particular cuando los caudales máximos para este proyecto investigativo son fijos que depende solo del tiempo de retorno, ya que como se mencionó anteriormente fueron calculados a través del método estadístico de Gumbel.

7.1.3. Fase 3: Calibración del Programa HEC-RAS

Con la calibración del programa Hec-Ras se aborda la geometría del río Fucha y del San Francisco, donde se ingresan las coordenadas de cada una de las secciones obtenidas para un total de 47 secciones para el río Fucha y 3 para el canal San Francisco.

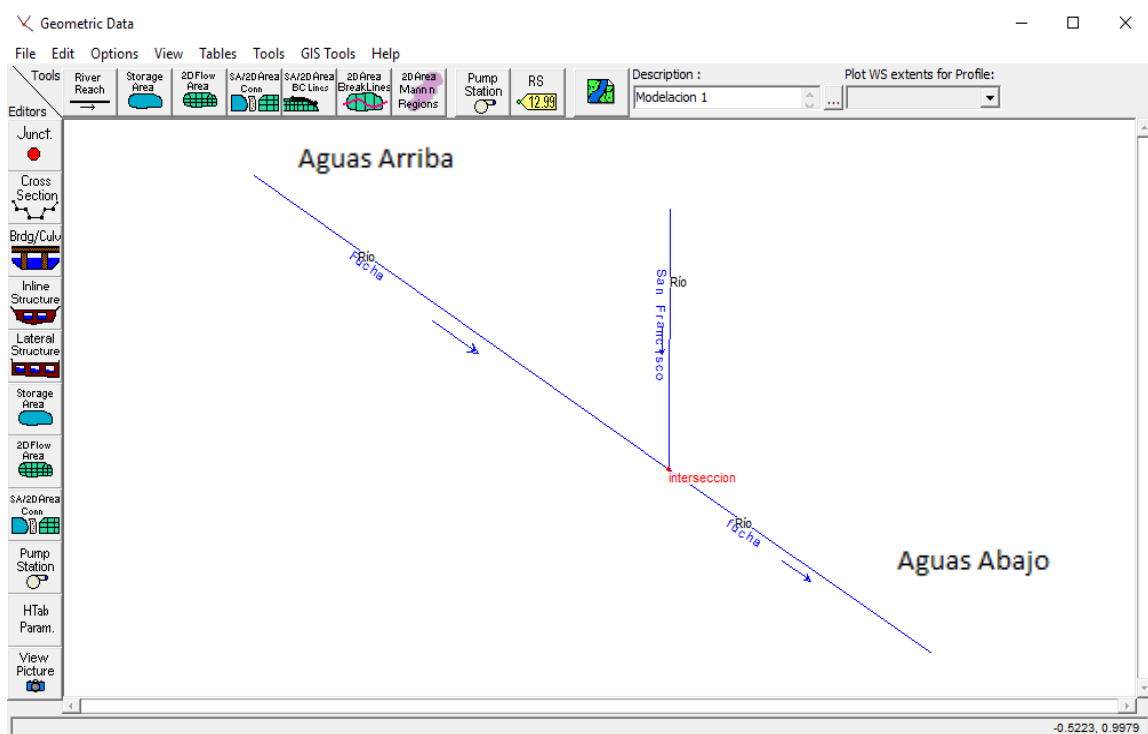


Imagen 17. Geometría Fucha y San Francisco

Cross Section Data - geometria

Exit Edit Options Plot Help

River: Fucha Apply Data

Reach: Río River Sta.: 35

Description Km 10+009.9

Cross Section Coordinates	
Station	Elevation
1	-16
2	-16
3	-13
4	0
5	13
6	16
7	16
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	

Downstream Reach Lengths		
LOB	Channel	ROB
66.1	66.1	66.1

Manning's n Values		
LOB	Channel	ROB
0.018	0.015	0.018

Main Channel Bank Stations	
Left Bank	Right Bank
-16	16

Cont'Exp Coefficient (Steady)	
Contraction	Expansion
0.1	0.3

Select river for cross section editing

Imagen 18. Creación de las secciones transversales

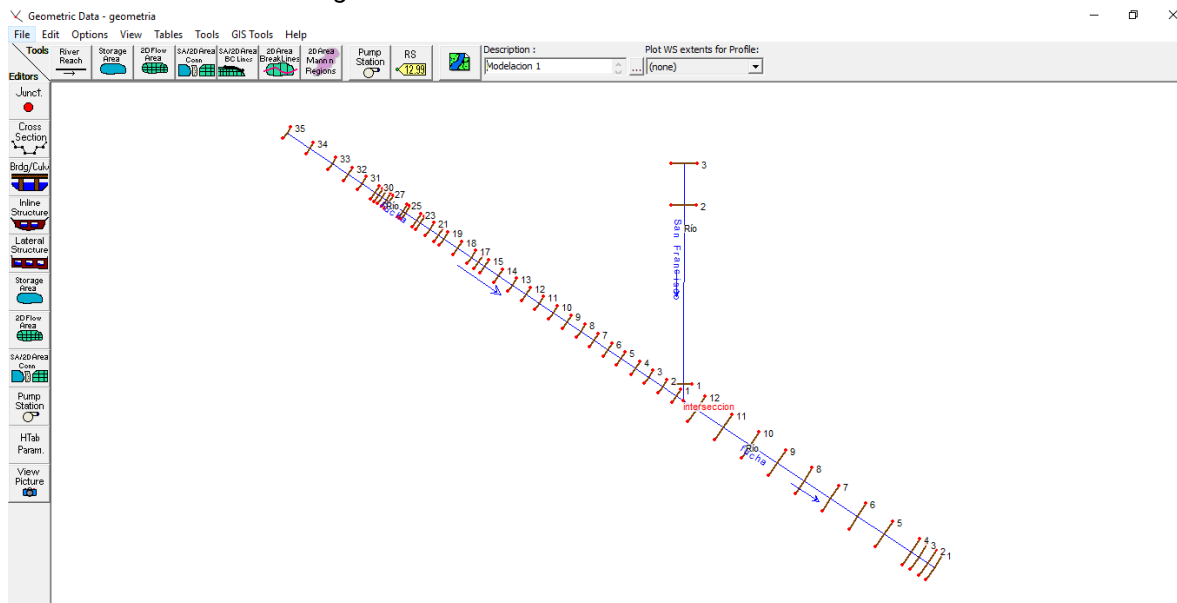


Imagen 19. Creación de las secciones transversales

Al integrar las coordenadas de cada sección transversal, se indica un valor para el coeficiente de rugosidad de Manning; Donde para el cauce principal se toma a 0.015 dado que el canal presenta un revestimiento en concreto, así mismo para las márgenes de derecha e izquierda pertenecientes a la ronda hidráulica del río su valor es de 0.018 ya que el cauce tiene una serie de taludes en suelo natural hasta su desembocadura.

▼ Cross Section Data - geometria

Exit Edit Options Plot Help

River: Fucha Apply Data

Reach: Río River Sta.: 35

Description Km 10+009.9

Del Row Ins Row

Cross Section Coordinates		
	Station	Elevation
1	-16	2546.49
2	-16	2543.95
3	-13	2541.76
4	0	2541.36
5	13	2541.73
6	16	2543.72
7	16	2546.17
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		

Downstream Reach Lengths		
LOB	Channel	ROB
66.1	66.1	66.1

Manning's n Values		
LOB	Channel	ROB
0.018	0.015	0.018

Main Channel Bank Stations	
Left Bank	Right Bank
-16	16

Cont\Exp Coefficient (Steady)	
Contraction	Expansion
0.1	0.3





Enter to move to next downstream river station location



Imagen 20. Coeficientes de Manning



Los coeficientes de expansión y contracción los determina automáticamente el software con valores de expansión (0.30) y contracción (0.10).

▼ Cross Section Data - geometria

Exit Edit Options Plot Help

River: Apply Data    

Reach: River Sta.:  

Description  

Cross Section Coordinates		
	Station	Elevation
1	-16	2546.49
2	-16	2543.95
3	-13	2541.76
4	0	2541.36
5	13	2541.73
6	16	2543.72
7	16	2546.17
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		

Downstream Reach Lengths		
LOB	Channel	ROB
66.1	66.1	66.1

Manning's n Values		
LOB	Channel	ROB
0.018	0.015	0.018

Main Channel Bank Stations	
Left Bank	Right Bank
-16	16

Cont\Exp Coefficient (Steady)	
Contraction	Expansion
0.1	0.3

Select river for cross section editing

Imagen 21. Coeficientes de Contracción y expansión

7.1.4. Fase 4: Resultados con períodos de retorno de 5, 25, 50 y 100 años

Escenarios propuestos para el análisis hidráulico

✓ Escenario 1:

Se obtiene los caudales de diseño de la modelación hidráulica ejecutada por la empresa INGENTEC en el programa SewerGEMS. Con ello se realiza una primera modelación en el programa Hec-Ras.

✓ Escenario 2:

Se realizará una modelación hidráulica donde se incluya el factor cambio climático (factor de incertidumbre generado por los cambios abruptos en las precipitaciones), que tendrá en cuenta el caudal máximo que se prevé obtener por este fenómeno, y así determinar si en un tiempo de retorno de 5, 25, 50 y 100 años esta sección del río se inundara.

✓ **Escenario 1:**

Al tener el programa calibrado, se ingresan los caudales de diseño de la modelación hidráulica ejecutada por la empresa INGENTEC; así mismo hay que tener en cuenta que este caudal proviene de la sumatoria del caudal pluvial, sanitario y combinado de la Cuenca.

Caudales Máximos (m³/s)			
Tr = 5 (años)	Tr = 25 (años)	Tr = 50 (años)	Tr = 100 (años)
171	213.34	243.64	304.23

Tabla 10. Caudal para cada tiempo de retorno

File Options Help

Enter/Edit Number of Profiles (32000 max): 4

Reach Boundary Conditions ...

Apply Data

Locations of Flow Data Changes

River: Fucha

Add Multiple...

Reach: Río

River Sta.: 35

Add A Flow Change Location

Flow Change Location				Profile Names and Flow Rates				
	River	Reach	RS	TR: 5 Años	TR: 25 Años	TR: 50 Años	TR: 100 Años	▲
1	Fucha	Río	35	171	213.34	243.64	304.23	
2	Fucha	Río	34	171	213.34	243.64	304.23	
3	Fucha	Río	33	171	213.34	243.64	304.23	
4	Fucha	Río	32	171	213.34	243.64	304.23	
5	Fucha	Río	31	171	213.34	243.64	304.23	
6	Fucha	Río	30	171	213.34	243.64	304.23	
7	Fucha	Río	29	171	213.34	243.64	304.23	
8	Fucha	Río	28	171	213.34	243.64	304.23	
9	Fucha	Río	27	171	213.34	243.64	304.23	
10	Fucha	Río	26	171	213.34	243.64	304.23	
11	Fucha	Río	25	171	213.34	243.64	304.23	
12	Fucha	Río	24	171	213.34	243.64	304.23	
13	Fucha	Río	23	171	213.34	243.64	304.23	
14	Fucha	Río	22	171	213.34	243.64	304.23	
15	Fucha	Río	21	171	213.34	243.64	304.23	
16	Fucha	Río	20	171	213.34	243.64	304.23	
17	Fucha	Río	19	171	213.34	243.64	304.23	
18	Fucha	Río	18	171	213.34	243.64	304.23	
19	Fucha	Río	17	171	213.34	243.64	304.23	
20	Fucha	Río	16	171	213.34	243.64	304.23	

Steady Flow Data - Flow Data

File Options Help

Enter/Edit Number of Profiles (32000 max): Reach Boundary Conditions ... Apply Data

Locations of Flow Data Changes

River: Add Multiple...

Reach: River Sta.: Add A Flow Change Location

Flow Change Location				Profile Names and Flow Rates			
	River	Reach	RS	TR: 5 Años	TR: 25 Años	TR: 50 Años	TR: 100 Años
21	Fucha	Río	15	171	213.34	243.64	304.23
22	Fucha	Río	14	171	213.34	243.64	304.23
23	Fucha	Río	13	171	213.34	243.64	304.23
24	Fucha	Río	12	171	213.34	243.64	304.23
25	Fucha	Río	11	171	213.34	243.64	304.23
26	Fucha	Río	10	171	213.34	243.64	304.23
27	Fucha	Río	9	171	213.34	243.64	304.23
28	Fucha	Río	8	171	213.34	243.64	304.23
29	Fucha	Río	7	171	213.34	243.64	304.23
30	Fucha	Río	6	171	213.34	243.64	304.23
31	Fucha	Río	5	171	213.34	243.64	304.23
32	Fucha	Río	4	171	213.34	243.64	304.23
33	Fucha	Río	3	171	213.34	243.64	304.23
34	Fucha	Río	2	171	213.34	243.64	304.23
35	Fucha	Río	1	171	213.34	243.64	304.23
36	fucha	Río	12	171	213.34	243.64	304.23
37	fucha	Río	11	171	213.34	243.64	304.23
38	fucha	Río	10	171	213.34	243.64	304.23
39	fucha	Río	9	171	213.34	243.64	304.23
40	fucha	Río	8	171	213.34	243.64	304.23
41	fucha	Río	7	171	213.34	243.64	304.23
42	fucha	Río	6	171	213.34	243.64	304.23
43	fucha	Río	5	171	213.34	243.64	304.23
44	fucha	Río	4	171	213.34	243.64	304.23
45	fucha	Río	3	171	213.34	243.64	304.23
46	fucha	Río	2	171	213.34	243.64	304.23
47	fucha	Río	1	171	213.34	243.64	304.23
48	San Francisco	Río	3	171	213.34	243.64	304.23
49	San Francisco	Río	2	171	213.34	243.64	304.23
50	San Francisco	Río	1	171	213.34	243.64	304.23

Imagen 22. Caudales de diseño para el escenario 1.

Se determinó que la lámina de agua tiene una altura de 0.50 m, a partir de la Cota del terreno de cada sección, con esta condición de frontera se modela el primer escenario.

Steady Flow Boundary Conditions

☒ Set boundary for all profiles
 ☐ Set boundary for one profile at a time

Available External Boundary Condition Types

Selected Boundary Condition Locations and Types

River	Reach	Profile	Upstream	Downstream
Fucha	Río	all	Known WS	Junction=interseccion
fucha	Río	all	Junction=interseccion	Known WS
San Francisco	Río	all	Known WS	Junction=interseccion

Steady Flow Reach-Storage Area Optimization ...

Enter to accept data changes.

Imagen 23. Condiciones del límite del flujo

Se resalta que el análisis del flujo del río se encuentra en un régimen mixto, esto quiere decir que debido a su corta distancia de simulación, una creciente puede suceder de forma súbita en períodos inferiores a un día, pasando el flujo de subcrítico a supercrítico en condiciones de precipitación con tiempos de retorno de entre 5 a 10 años.

Steady Flow Analysis

File Options Help

Plan : Plan 04 Short ID Plan 04

Geometry File : geometria

Steady Flow File : Flow Data

Plan Description :

Flow Regime

☐ Subcritical
☐ Supercritical
☒ Mixed

Optional Programs

☒ Floodplain Mapping

Compute

Enter to compute water surface profiles

Imagen 24. Análisis de régimen del flujo

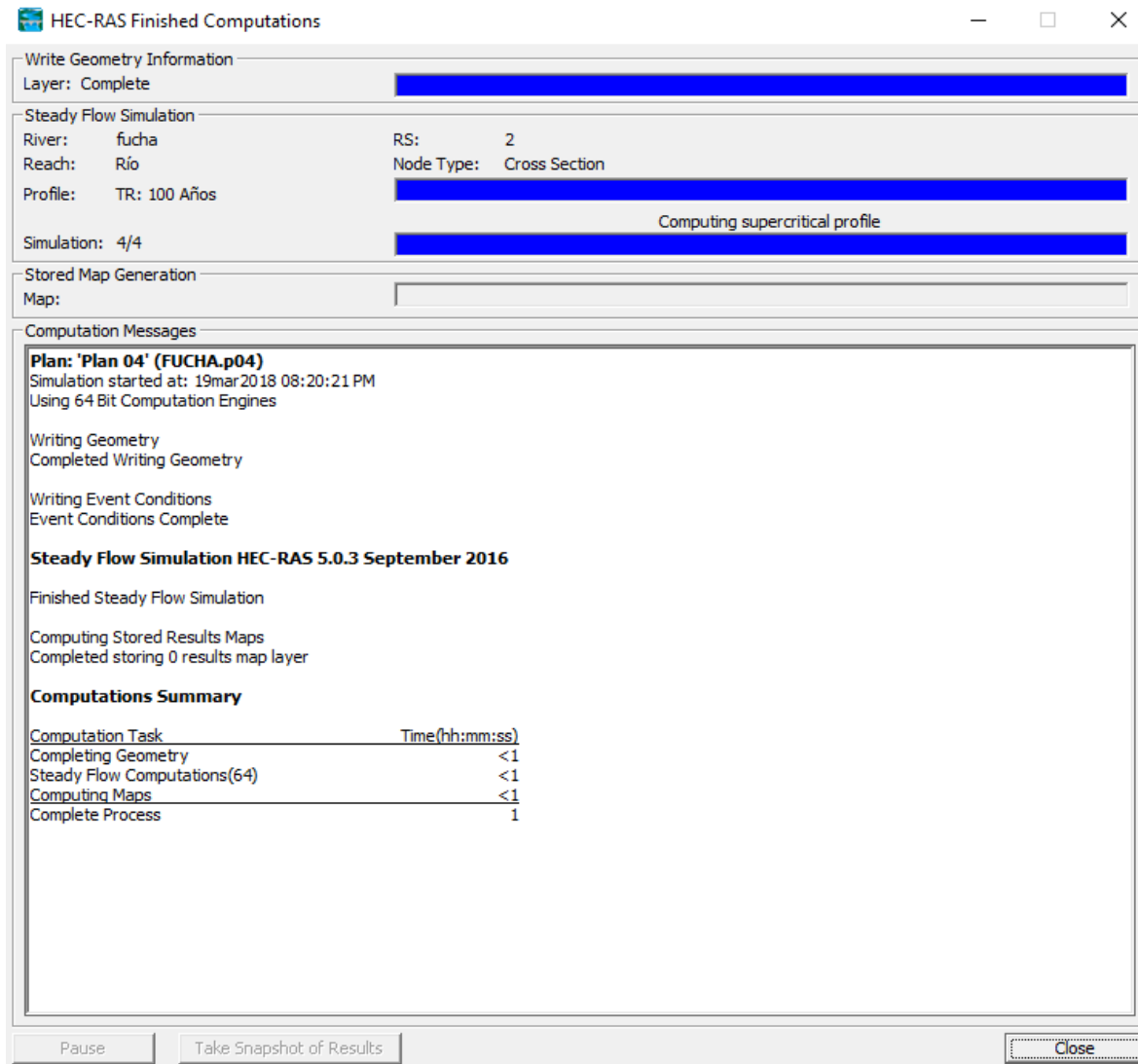


Imagen 25. Modelación Finalizada

Se realiza la modelación verificando que no se obtuvo ningún error al momento de correr el programa obteniendo los siguientes datos y gráficos.

PERÍODO DE RETORNO 5 AÑOS							
River	River Sta	Q Total (m3/s)	Crit W.S.(m)	E.G. Elev (m)	Vel Chnl (m/s)	# Froude	Observación
fucha	12	171	-	2542.64	3.32	0.76	flujo subcrítico
fucha	11	171	-	2542.6	3.33	0.77	flujo subcrítico
fucha	10	171	-	2542.55	3.35	0.77	flujo subcrítico
fucha	9	171	-	2542.51	3.36	0.78	flujo subcrítico
fucha	8	171	-	2542.46	3.39	0.78	flujo subcrítico
fucha	7	171	-	2542.42	3.42	0.79	flujo subcrítico
fucha	6	171	-	2542.37	3.45	0.8	flujo subcrítico
fucha	5	171	-	2542.32	3.5	0.82	flujo subcrítico
fucha	4	171	-	2542.27	3.6	0.85	flujo subcrítico
fucha	3	171	-	2542.25	3.58	0.85	flujo subcrítico
fucha	2	171	2541.37	2542.23	3.66	0.87	flujo subcrítico
fucha	1	171	2541.36	2542.2	4.05	1.01	flujo supercrítico
San Francisco	3	171	2542.49	2543.4	3.07	0.72	flujo subcrítico
San Francisco	2	171	2542.49	2543.28	3.94	1	flujo Critico
San Francisco	1	171	2541.42	2542.69	2.96	0.58	flujo subcrítico
Fucha	35	171	2543.16	2544.38	2.29	0.48	flujo subcrítico
Fucha	34	171	-	2544.35	2.33	0.49	flujo subcrítico
Fucha	33	171	-	2544.29	3.23	0.75	flujo subcrítico
Fucha	32	171	-	2544.23	3.36	0.77	flujo subcrítico
Fucha	31	171	-	2544.17	3.56	0.84	flujo subcrítico
Fucha	30	171	-	2544.12	3.54	0.83	flujo subcrítico
Fucha	29	171	-	2544.1	3.52	0.83	flujo subcrítico
Fucha	28	171	-	2544.09	3.53	0.83	flujo subcrítico
Fucha	27	171	-	2544.07	3.51	0.82	flujo subcrítico
Fucha	26	171	-	2544.04	3.32	0.76	flujo subcrítico
Fucha	25	171	-	2543.98	3.68	0.88	flujo subcrítico
Fucha	24	171	2543.11	2543.97	3.69	0.88	flujo subcrítico
Fucha	23	171	2543.06	2543.92	3.68	0.88	flujo subcrítico
Fucha	22	171	-	2543.9	3.67	0.87	flujo subcrítico
Fucha	21	171	2543	2543.86	3.69	0.88	flujo subcrítico

PERÍODO DE RETORNO 5 AÑOS							
River	River Sta	Q Total (m3/s)	Crit W.S.(m)	E.G. Elev (m)	Vel Chnl (m/s)	# Froude	Observación
Fucha	20	171	-	2543.82	3.68	0.88	flujo subcrítico
Fucha	19	171	2542.94	2543.8	3.69	0.88	flujo subcrítico
Fucha	18	171	2542.88	2543.74	3.69	0.88	flujo subcrítico
Fucha	17	171	-	2543.68	3.69	0.88	flujo subcrítico
Fucha	16	171	2542.79	2543.65	3.69	0.88	flujo subcrítico
Fucha	15	171	2542.76	2543.61	3.69	0.88	flujo subcrítico
Fucha	14	171	2542.7	2543.54	3.98	0.98	flujo subcrítico
Fucha	13	171	2542.58	2543.44	3.69	0.88	flujo subcrítico
Fucha	12	171	2542.52	2543.38	3.69	0.88	flujo subcrítico
Fucha	11	171	2542.46	2543.32	3.69	0.88	flujo subcrítico
Fucha	10	171	2542.4	2543.26	3.68	0.88	flujo subcrítico
Fucha	9	171	2542.34	2543.2	3.68	0.88	flujo subcrítico
Fucha	8	171	2542.28	2543.14	3.68	0.88	flujo subcrítico
Fucha	7	171	2542.22	2543.08	3.68	0.88	flujo subcrítico
Fucha	6	171	2542.16	2543.02	3.68	0.88	flujo subcrítico
Fucha	5	171	-	2542.96	3.68	0.88	flujo subcrítico
Fucha	4	171	2542.04	2542.9	3.68	0.88	flujo subcrítico
Fucha	3	171	2541.98	2542.84	3.68	0.88	flujo subcrítico
Fucha	2	171	2541.92	2542.78	3.68	0.88	flujo subcrítico
Fucha	1	171	-	2542.7	3.43	0.79	flujo subcrítico

Tabla 11. Resultados para un tiempo de retorno de 5 años

PERÍODO DE RETORNO 25 AÑOS							
River	River Sta	Q Total (m3/s)	Crit W.S.(m)	E.G. Elev (m)	Vel Chnl (m/s)	# Froude	Observación
fucha	12	213.34	-	2543.03	3.58	0.78	flujo subcrítico
fucha	11	213.34	-	2542.99	3.59	0.78	flujo subcrítico
fucha	10	213.34	-	2542.95	3.6	0.78	flujo subcrítico
fucha	9	213.34	-	2542.9	3.62	0.79	flujo subcrítico
fucha	8	213.34	-	2542.86	3.64	0.79	flujo subcrítico
fucha	7	213.34	-	2542.81	3.67	0.8	flujo subcrítico
fucha	6	213.34	-	2542.76	3.71	0.81	flujo subcrítico
fucha	5	213.34	-	2542.71	3.76	0.83	flujo subcrítico
fucha	4	213.34	2541.68	2542.66	3.85	0.86	flujo subcrítico
fucha	3	213.34	-	2542.64	3.84	0.85	flujo subcrítico
fucha	2	213.34	2541.65	2542.62	3.91	0.88	flujo subcrítico
fucha	1	213.34	2541.64	2542.59	4.32	1.01	flujo supercrítico
San Francisco	3	213.34	2542.79	2543.77	3.29	0.73	flujo subcrítico
San Francisco	2	213.34	2542.79	2543.65	4.12	1	flujo Critico
San Francisco	1	213.34	2541.72	2543.08	3.35	0.63	flujo subcrítico
Fucha	35	213.34	2543.4	2544.78	2.49	0.49	flujo subcrítico
Fucha	34	213.34	-	2544.75	2.53	0.5	flujo subcrítico
Fucha	33	213.34	-	2544.68	3.42	0.75	flujo subcrítico
Fucha	32	213.34	-	2544.62	3.62	0.79	flujo subcrítico
Fucha	31	213.34	-	2544.56	3.82	0.85	flujo subcrítico
Fucha	30	213.34	-	2544.51	3.79	0.84	flujo subcrítico
Fucha	29	213.34	-	2544.49	3.77	0.83	flujo subcrítico
Fucha	28	213.34	-	2544.48	3.78	0.84	flujo subcrítico
Fucha	27	213.34	-	2544.46	3.77	0.83	flujo subcrítico
Fucha	26	213.34	-	2544.43	3.58	0.78	flujo subcrítico
Fucha	25	213.34	-	2544.37	3.95	0.89	flujo subcrítico
Fucha	24	213.34	2543.39	2544.36	3.95	0.89	flujo subcrítico
Fucha	23	213.34	2543.34	2544.31	3.95	0.89	flujo subcrítico
Fucha	22	213.34	-	2544.29	3.93	0.88	flujo subcrítico
Fucha	21	213.34	2543.28	2544.25	3.95	0.89	flujo subcrítico

PERÍODO DE RETORNO 25 AÑOS							
River	River Sta	Q Total (m3/s)	Crit W.S.(m)	E.G. Elev (m)	Vel Chnl (m/s)	# Froude	Observación
Fucha	20	213.34	-	2544.21	3.93	0.88	flujo subcrítico
Fucha	19	213.34	2543.22	2544.19	3.94	0.89	flujo subcrítico
Fucha	18	213.34	2543.16	2544.13	3.94	0.89	flujo subcrítico
Fucha	17	213.34	2543.1	2544.07	3.94	0.88	flujo subcrítico
Fucha	16	213.34	2543.07	2544.04	3.93	0.88	flujo subcrítico
Fucha	15	213.34	2543.04	2544.01	3.94	0.88	flujo subcrítico
Fucha	14	213.34	2542.98	2543.93	4.25	0.99	flujo subcrítico
Fucha	13	213.34	2542.86	2543.83	3.96	0.89	flujo subcrítico
Fucha	12	213.34	2542.8	2543.77	3.96	0.89	flujo subcrítico
Fucha	11	213.34	2542.74	2543.71	3.95	0.89	flujo subcrítico
Fucha	10	213.34	2542.68	2543.65	3.95	0.89	flujo subcrítico
Fucha	9	213.34	2542.62	2543.59	3.95	0.89	flujo subcrítico
Fucha	8	213.34	2542.56	2543.53	3.95	0.89	flujo subcrítico
Fucha	7	213.34	2542.5	2543.47	3.95	0.89	flujo subcrítico
Fucha	6	213.34	2542.44	2543.41	3.94	0.89	flujo subcrítico
Fucha	5	213.34	2542.38	2543.35	3.93	0.88	flujo subcrítico
Fucha	4	213.34	2542.32	2543.29	3.93	0.88	flujo subcrítico
Fucha	3	213.34	2542.26	2543.23	3.93	0.88	flujo subcrítico
Fucha	2	213.34	2542.2	2543.17	3.93	0.88	flujo subcrítico
Fucha	1	213.34	-	2543.09	3.68	0.81	flujo subcrítico

Tabla 12. Resultados para un tiempo de retorno de 25 años

PERÍODO DE RETORNO 50 AÑOS							
River	River Sta	Q Total (m3/s)	Crit W.S.(m)	E.G. Elev (m)	Vel Chnl (m/s)	# Froude	Observación
fucha	12	243.64		2543.3	3.67	0.79	flujo subcrítico
fucha	11	243.64		2543.26	3.7	0.8	flujo subcrítico
fucha	10	243.64		2543.21	3.73	0.81	flujo subcrítico
fucha	9	243.64		2543.16	3.77	0.82	flujo subcrítico
fucha	8	243.64		2543.12	3.8	0.8	flujo subcrítico
fucha	7	243.64		2543.07	3.83	0.81	flujo subcrítico
fucha	6	243.64		2543.02	3.87	0.82	flujo subcrítico
fucha	5	243.64		2542.97	3.92	0.84	flujo subcrítico
fucha	4	243.64	2541.86	2542.92	4.01	0.86	flujo subcrítico
fucha	3	243.64		2542.9	3.99	0.86	flujo subcrítico
fucha	2	243.64	2541.84	2542.88	4.07	0.88	flujo subcrítico
fucha	1	243.64	2541.83	2542.85	4.48	1	flujo Critico
San Francisco	3	243.64	2542.95	2544.01	3.45	0.74	flujo subcrítico
San Francisco	2	243.64	2542.95	2543.89	4.29	1	flujo Critico
San Francisco	1	243.64	2541.92	2543.35	3.59	0.66	flujo subcrítico
Fucha	35	243.64	2543.57	2545.04	2.62	0.49	flujo subcrítico
Fucha	34	243.64		2545.01	2.65	0.5	flujo subcrítico
Fucha	33	243.64		2544.94	3.53	0.74	flujo subcrítico
Fucha	32	243.64		2544.88	3.76	0.82	flujo subcrítico
Fucha	31	243.64		2544.83	3.96	0.85	flujo subcrítico
Fucha	30	243.64		2544.77	3.94	0.84	flujo subcrítico
Fucha	29	243.64		2544.75	3.91	0.83	flujo subcrítico
Fucha	28	243.64		2544.74	3.92	0.84	flujo subcrítico
Fucha	27	243.64		2544.73	3.91	0.83	flujo subcrítico
Fucha	26	243.64		2544.69	3.72	0.8	flujo subcrítico
Fucha	25	243.64		2544.63	4.12	0.9	flujo subcrítico
Fucha	24	243.64	2543.58	2544.62	4.13	0.9	flujo subcrítico
Fucha	23	243.64	2543.53	2544.57	4.12	0.9	flujo subcrítico
Fucha	22	243.64		2544.55	4.11	0.89	flujo subcrítico
Fucha	21	243.64	2543.46	2544.51	4.12	0.9	flujo subcrítico

PERÍODO DE RETORNO 50 AÑOS							
River	River Sta	Q Total (m3/s)	Crit W.S.(m)	E.G. Elev (m)	Vel Chnl (m/s)	# Froude	Observación
Fucha	20	243.64	-	2544.47	4.11	0.89	flujo subcrítico
Fucha	19	243.64	2543.4	2544.45	4.12	0.89	flujo subcrítico
Fucha	18	243.64	2543.35	2544.39	4.11	0.89	flujo subcrítico
Fucha	17	243.64	2543.29	2544.33	4.11	0.89	flujo subcrítico
Fucha	16	243.64	2543.26	2544.3	4.11	0.89	flujo subcrítico
Fucha	15	243.64	2543.23	2544.27	4.11	0.89	flujo subcrítico
Fucha	14	243.64	2543.16	2544.19	4.4	0.98	flujo subcrítico
Fucha	13	243.64	2543.05	2544.09	4.11	0.89	flujo subcrítico
Fucha	12	243.64	2542.98	2544.03	4.1	0.89	flujo subcrítico
Fucha	11	243.64	2542.92	2543.97	4.1	0.89	flujo subcrítico
Fucha	10	243.64	2542.87	2543.91	4.09	0.89	flujo subcrítico
Fucha	9	243.64	2542.8	2543.85	4.09	0.89	flujo subcrítico
Fucha	8	243.64	2542.74	2543.79	4.08	0.88	flujo subcrítico
Fucha	7	243.64	2542.69	2543.73	4.07	0.88	flujo subcrítico
Fucha	6	243.64	2542.63	2543.67	4.06	0.88	flujo subcrítico
Fucha	5	243.64	2542.56	2543.61	4.04	0.87	flujo subcrítico
Fucha	4	243.64	2542.51	2543.56	4.04	0.87	flujo subcrítico
Fucha	3	243.64	2542.45	2543.5	4.02	0.87	flujo subcrítico
Fucha	2	243.64	-	2543.44	4	0.86	flujo subcrítico
Fucha	1	243.64	-	2543.36	3.78	0.82	flujo subcrítico

Tabla 13. Resultados para un tiempo de retorno de 50 años

PERÍODO DE RETORNO 100 AÑOS							
River	River Sta	Q Total (m3/s)	Crit W.S.(m)	E.G. Elev (m)	Vel Chnl (m/s)	# Froude	Observación
fucha	12	304.23	-	2543.77	3.91	0.79	flujo subcrítico
fucha	11	304.23	-	2543.73	3.92	0.8	flujo subcrítico
fucha	10	304.23	-	2543.68	3.93	0.8	flujo subcrítico
fucha	9	304.23	-	2543.64	3.95	0.8	flujo subcrítico
fucha	8	304.23	-	2543.59	3.97	0.81	flujo subcrítico
fucha	7	304.23	-	2543.55	4	0.82	flujo subcrítico
fucha	6	304.23	-	2543.5	4.04	0.83	flujo subcrítico
fucha	5	304.23	-	2543.45	4.09	0.84	flujo subcrítico
fucha	4	304.23	2542.27	2543.4	4.18	0.87	flujo subcrítico
fucha	3	304.23	-	2543.38	4.17	0.86	flujo subcrítico
fucha	2	304.23	2542.24	2543.36	4.24	0.89	flujo subcrítico
fucha	1	304.23	2542.23	2543.33	4.65	1.01	flujo supercrítico
San Francisco	3	304.23	2543.26	2544.45	3.73	0.75	flujo Critico
San Francisco	2	304.23	2543.26	2544.34	4.59	1.01	flujo supercrítico
San Francisco	1	304.23	2542.31	2543.83	4.08	0.72	flujo subcrítico
Fucha	35	304.23	2543.87	2545.52	2.87	0.5	flujo subcrítico
Fucha	34	304.23	-	2545.49	2.91	0.51	flujo subcrítico
Fucha	33	304.23	-	2545.41	3.79	0.75	flujo subcrítico
Fucha	32	304.23	-	2545.36	3.95	0.8	flujo subcrítico
Fucha	31	304.23	2544.17	2545.3	4.14	0.86	flujo subcrítico
Fucha	30	304.23	-	2545.25	4.12	0.85	flujo subcrítico
Fucha	29	304.23	-	2545.23	4.1	0.84	flujo subcrítico
Fucha	28	304.23	-	2545.22	4.1	0.85	flujo subcrítico
Fucha	27	304.23	-	2545.2	4.09	0.84	flujo subcrítico
Fucha	26	304.23	-	2545.17	3.91	0.79	flujo subcrítico
Fucha	25	304.23	2543.98	2545.1	4.29	0.9	flujo subcrítico
Fucha	24	304.23	2543.98	2545.09	4.3	0.9	flujo subcrítico
Fucha	23	304.23	2543.93	2545.04	4.29	0.9	flujo subcrítico
Fucha	22	304.23	-	2545.03	4.27	0.9	flujo subcrítico
Fucha	21	304.23	2543.87	2544.98	4.28	0.9	flujo subcrítico

PERÍODO DE RETORNO 100 AÑOS							
River	River Sta	Q Total (m3/s)	Crit W.S.(m)	E.G. Elev (m)	Vel Chnl (m/s)	# Froude	Observación
Fucha	20	304.23	-	2544.95	4.27	0.89	flujo subcrítico
Fucha	19	304.23	2543.81	2544.93	4.28	0.9	flujo subcrítico
Fucha	18	304.23	2543.75	2544.87	4.27	0.9	flujo subcrítico
Fucha	17	304.23	2543.69	2544.81	4.27	0.89	flujo subcrítico
Fucha	16	304.23	2543.66	2544.78	4.26	0.89	flujo subcrítico
Fucha	15	304.23	2543.63	2544.75	4.26	0.89	flujo subcrítico
Fucha	14	304.23	2543.57	2544.67	4.6	0.99	flujo subcrítico
Fucha	13	304.23	2543.45	2544.56	4.3	0.9	flujo subcrítico
Fucha	12	304.23	2543.39	2544.5	4.3	0.9	flujo subcrítico
Fucha	11	304.23	2543.33	2544.44	4.3	0.9	flujo subcrítico
Fucha	10	304.23	2543.27	2544.38	4.29	0.9	flujo subcrítico
Fucha	9	304.23	2543.21	2544.32	4.29	0.9	flujo subcrítico
Fucha	8	304.23	2543.15	2544.26	4.29	0.9	flujo subcrítico
Fucha	7	304.23	2543.09	2544.2	4.28	0.9	flujo subcrítico
Fucha	6	304.23	2543.03	2544.15	4.28	0.9	flujo subcrítico
Fucha	5	304.23	2542.97	2544.09	4.27	0.89	flujo subcrítico
Fucha	4	304.23	2542.91	2544.03	4.26	0.89	flujo subcrítico
Fucha	3	304.23	2542.85	2543.97	4.26	0.89	flujo subcrítico
Fucha	2	304.23	2542.78	2543.91	4.25	0.89	flujo subcrítico
Fucha	1	304.23	-	2543.83	4.01	0.82	flujo subcrítico

Tabla 14. Resultados para un tiempo de retorno de 100 años

✓ **Escenario 2:**

Con los datos obtenidos del anterior escenario se procede a generar un nuevo modelo hidráulico teniendo en cuenta el aumento de la precipitación que tiene pronosticada el IDEAM del 8.9 % para la ciudad de Bogotá D.C.

Con el nuevo caudal máximo obtenido por el método de Gumbel el cual hace referencia al 8.9% de incremento en la precipitación se le adicionara a los caudales anteriormente establecidos, con el fin de encontrar la afectación de este en la cuenca del río Fucha.

Al tener el modelo calibrado previamente se adiciona el nuevo caudal máximo a evaluar.

CAUDALES MÁXIMOS (m³/s)				
ESCENARIOS	Tr = 5 (años)	Tr = 25 (años)	Tr = 50 (años)	Tr = 100 (años)
CAUDAL ESCENARIO 1	171	213.34	243.64	304.23
CAUDAL MAXIMO	1.06	1.29	1.39	1.48
CAUDAL ESCENARIO 2	172.06	214.63	245.03	305.71

Tabla 15. Caudales máximos para el escenario 2

Enter/Edit Number of Profiles (32000 max): 4

Reach Boundary Conditions ...

Apply Data

Locations of Flow Data Changes

River: Fucha

Add Multiple...

Reach: Río

River Sta.: 35

Add A Flow Change Location

Flow Change Location				Profile Names and Flow Rates				
	River	Reach	RS	TR: 5 Años	TR: 25 Años	TR: 50 Años	TR: 100 Años	
1	Fucha	Río	35	172.06	214.63	245.03	305.71	
2	Fucha	Río	34	172.06	214.63	245.03	305.71	
3	Fucha	Río	33	172.06	214.63	245.03	305.71	
4	Fucha	Río	32	172.06	214.63	245.03	305.71	
5	Fucha	Río	31	172.06	214.63	245.03	305.71	
6	Fucha	Río	30	172.06	214.63	245.03	305.71	
7	Fucha	Río	29	172.06	214.63	245.03	305.71	
8	Fucha	Río	28	172.06	214.63	245.03	305.71	
9	Fucha	Río	27	172.06	214.63	245.03	305.71	
10	Fucha	Río	26	172.06	214.63	245.03	305.71	
11	Fucha	Río	25	172.06	214.63	245.03	305.71	
12	Fucha	Río	24	172.06	214.63	245.03	305.71	
13	Fucha	Río	23	172.06	214.63	245.03	305.71	
14	Fucha	Río	22	172.06	214.63	245.03	305.71	
15	Fucha	Río	21	172.06	214.63	245.03	305.71	
16	Fucha	Río	20	172.06	214.63	245.03	305.71	
17	Fucha	Río	19	172.06	214.63	245.03	305.71	
18	Fucha	Río	18	172.06	214.63	245.03	305.71	
19	Fucha	Río	17	172.06	214.63	245.03	305.71	
20	Fucha	Río	16	172.06	214.63	245.03	305.71	
21	Fucha	Río	15	172.06	214.63	245.03	305.71	
22	Fucha	Río	14	172.06	214.63	245.03	305.71	
23	Fucha	Río	13	172.06	214.63	245.03	305.71	
24	Fucha	Río	12	172.06	214.63	245.03	305.71	
25	Fucha	Río	11	172.06	214.63	245.03	305.71	
26	Fucha	Río	10	172.06	214.63	245.03	305.71	
27	Fucha	Río	9	172.06	214.63	245.03	305.71	
28	Fucha	Río	8	172.06	214.63	245.03	305.71	
29	Fucha	Río	7	172.06	214.63	245.03	305.71	
30	Fucha	Río	6	172.06	214.63	245.03	305.71	

Steady Flow Data - Flow Data

File Options Help

Enter/Edit Number of Profiles (32000 max): Reach Boundary Conditions ... Apply Data

Locations of Flow Data Changes

River: Add Multiple...

Reach: River Sta.: Add A Flow Change Location

Flow Change Location				Profile Names and Flow Rates			
	River	Reach	RS	TR: 5 Años	TR: 25 Años	TR: 50 Años	TR: 100 Años
31	Fucha	Río	5	172.06	214.63	245.03	305.71
32	Fucha	Río	4	172.06	214.63	245.03	305.71
33	Fucha	Río	3	172.06	214.63	245.03	305.71
34	Fucha	Río	2	172.06	214.63	245.03	305.71
35	Fucha	Río	1	172.06	214.63	245.03	305.71
36	fucha	Río	12	172.06	214.63	245.03	305.71
37	fucha	Río	11	172.06	214.63	245.03	305.71
38	fucha	Río	10	172.06	214.63	245.03	305.71
39	fucha	Río	9	172.06	214.63	245.03	305.71
40	fucha	Río	8	172.06	214.63	245.03	305.71
41	fucha	Río	7	172.06	214.63	245.03	305.71
42	fucha	Río	6	172.06	214.63	245.03	305.71
43	fucha	Río	5	172.06	214.63	245.03	305.71
44	fucha	Río	4	172.06	214.63	245.03	305.71
45	fucha	Río	3	172.06	214.63	245.03	305.71
46	fucha	Río	2	172.06	214.63	245.03	305.71
47	fucha	Río	1	172.06	214.63	245.03	305.71
48	San Francisco	Río	3	172.06	214.63	245.03	305.71
49	San Francisco	Río	2	172.06	214.63	245.03	305.71
50	San Francisco	Río	1	172.06	214.63	245.03	305.71

Imagen 29. Caudales de diseño para el escenario 2

Se determinó que la lámina de agua tiene una altura de 0.50 m, a partir de la cota de terreno de cada sección que se aplicó para el escenario anterior y se asume la misma para el segundo escenario.

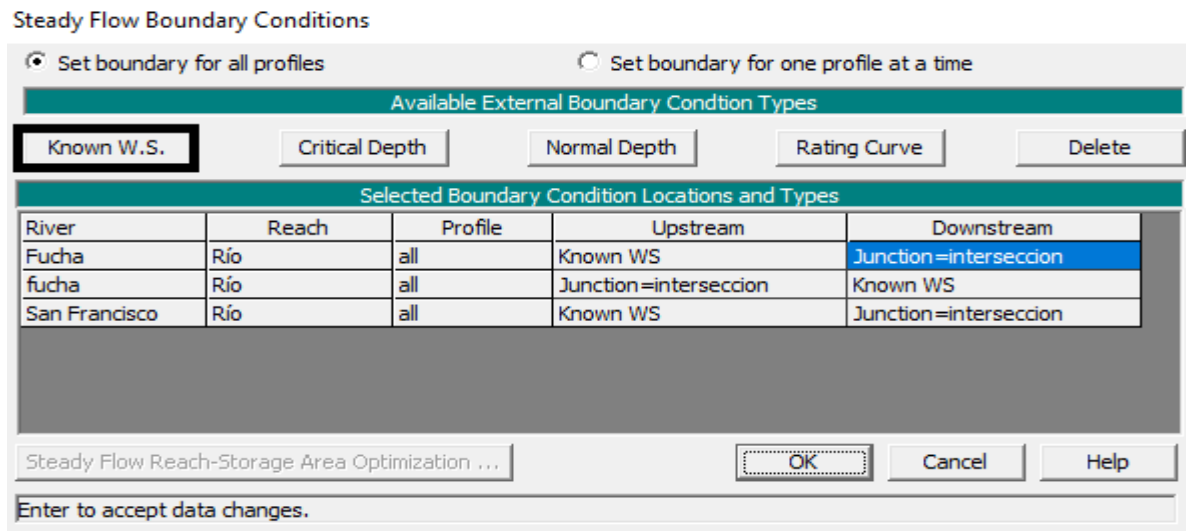


Imagen 30. Condiciones del límite del flujo

Se resalta que el análisis del flujo del río se encuentra en un régimen mixto, esto quiere decir que debido a su corta distancia de simulación, una creciente puede suceder de forma súbita en períodos inferiores a un día, pasando el flujo de subcrítico a supercrítico en condiciones de precipitación con tiempos de retorno de entre 5 a 10 años.

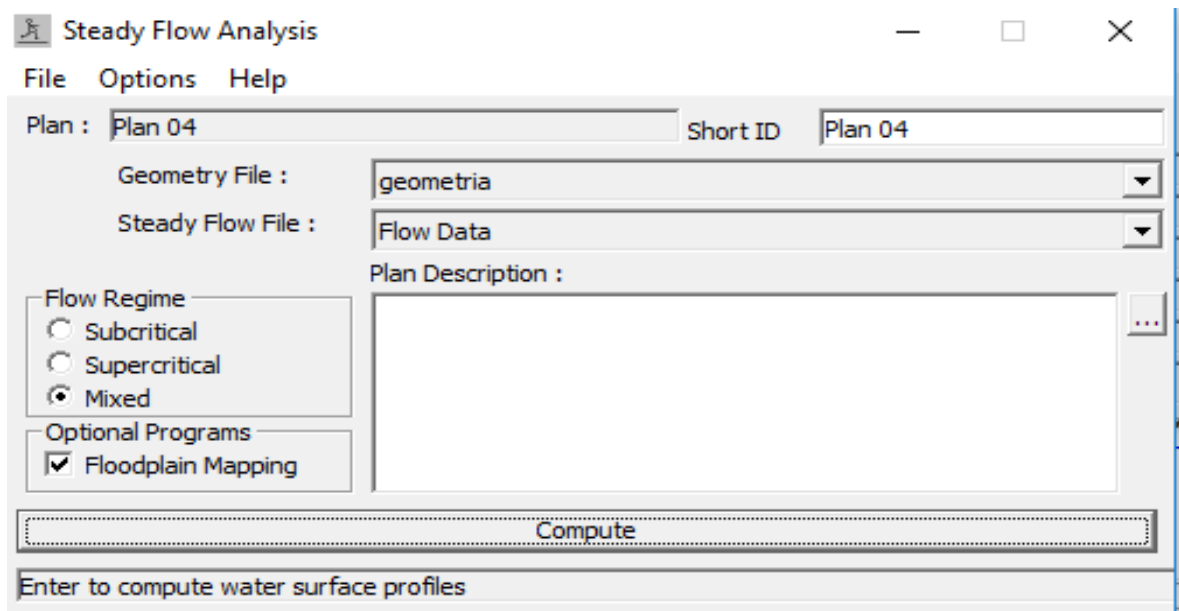


Imagen 31. Análisis del régimen del flujo

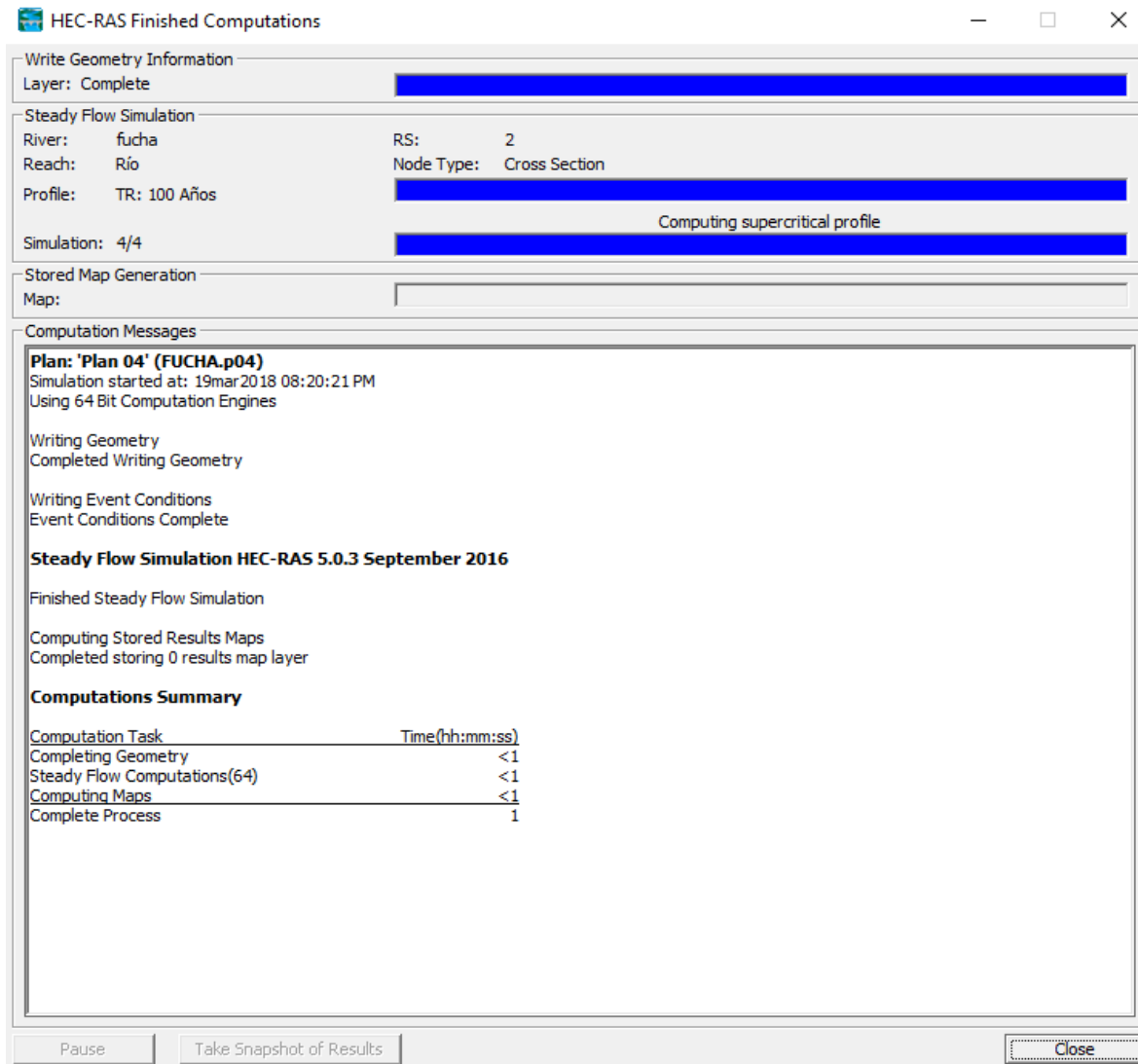


Imagen 32. Modelación Finalizada

Se realiza la modelación verificando que no se obtuvo ningún error al momento de correr el programa obteniendo los siguientes datos y gráficos.

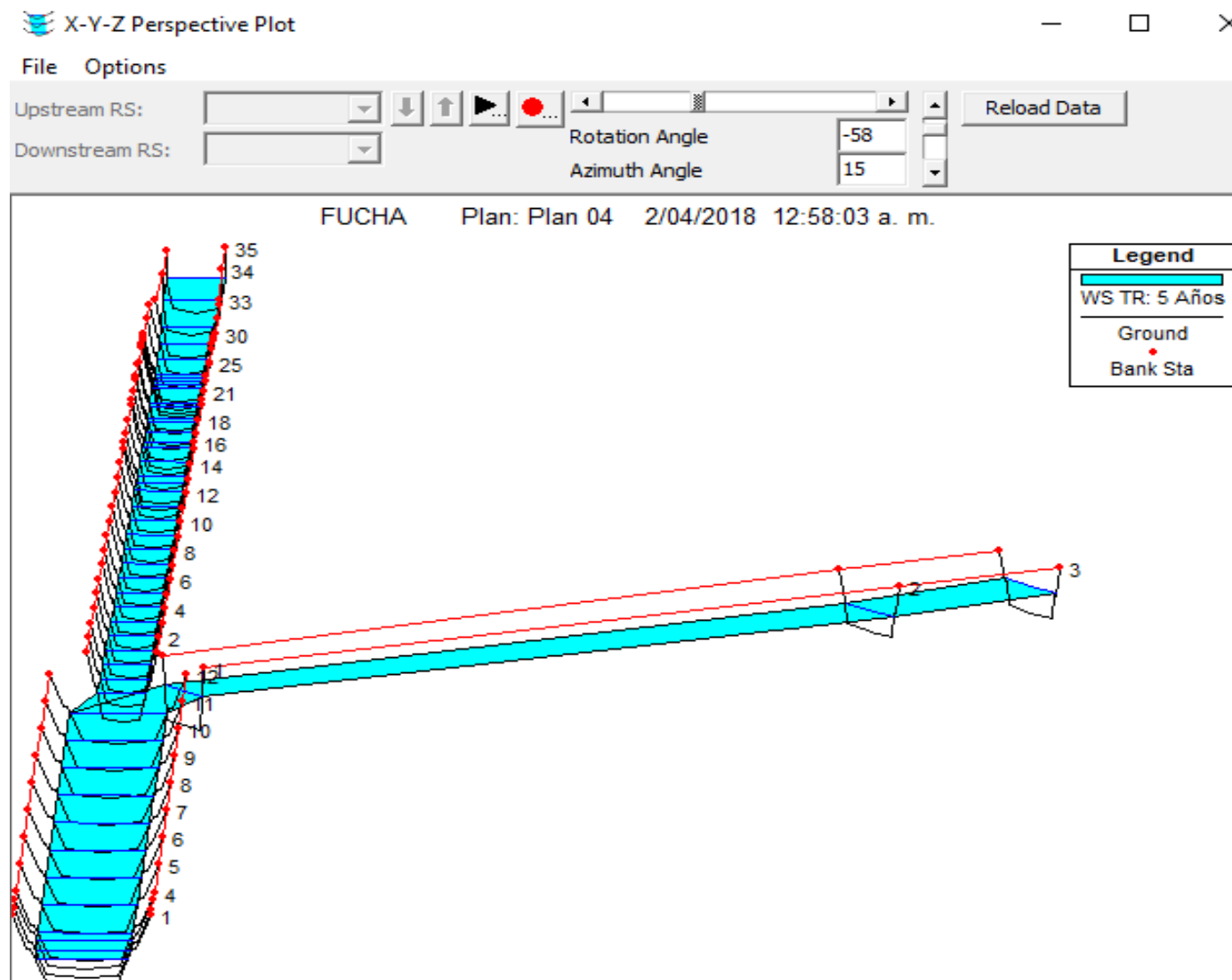


Imagen33. Perspectiva No 1 X-Y-Z del Escenario 2 – Período de retorno 5 años

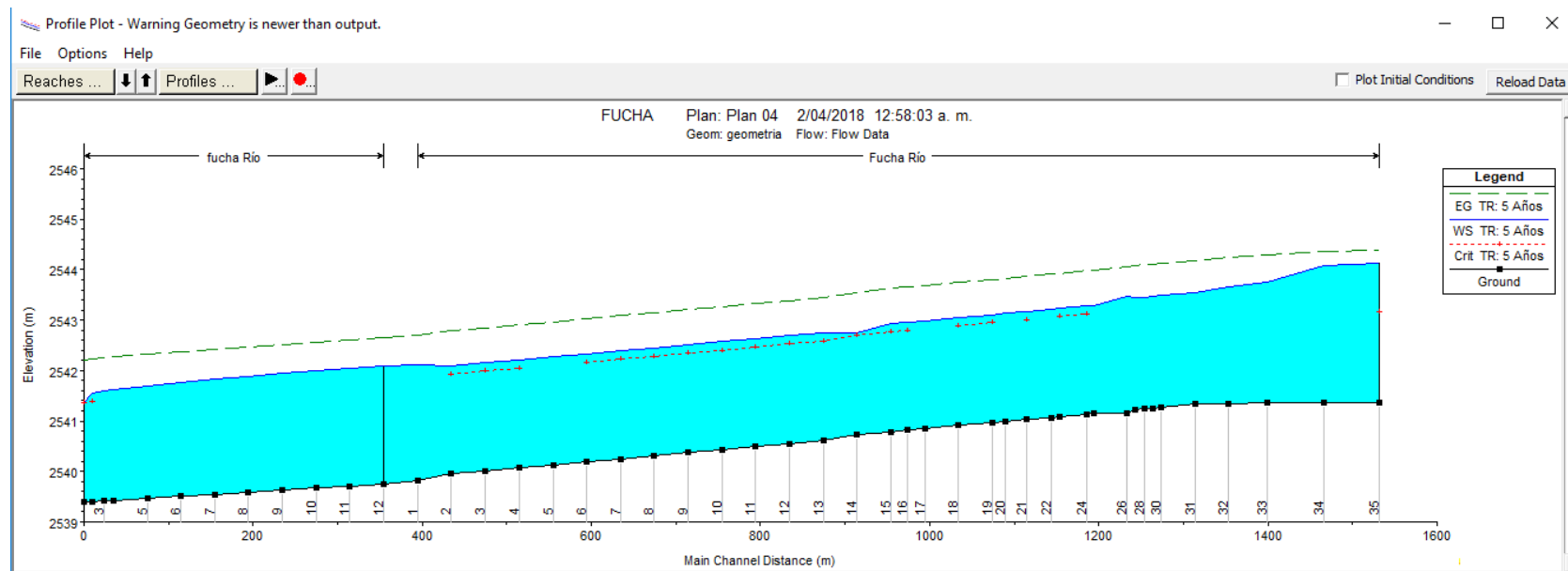


Imagen 35. Perfil del canal del Fucha a un período de retorno de 5 años

PERÍODO DE RETORNO 5 AÑOS							
River	River Sta	Q Total (m3/s)	Crit W.S.(m)	E.G. Elev (m)	Vel Chnl (m/s)	# Froude	Observación
fucha	12	172.06	-	2542.65	3.33	0.76	flujo subcrítico
fucha	11	172.06	-	2542.61	3.34	0.77	flujo subcrítico
fucha	10	172.06	-	2542.56	3.35	0.77	flujo subcrítico
fucha	9	172.06	-	2542.52	3.37	0.78	flujo subcrítico
fucha	8	172.06	-	2542.48	3.39	0.78	flujo subcrítico
fucha	7	172.06	-	2542.43	3.42	0.79	flujo subcrítico
fucha	6	172.06	-	2542.38	3.45	0.8	flujo subcrítico
fucha	5	172.06	-	2542.33	3.51	0.82	flujo subcrítico
fucha	4	172.06	-	2542.28	3.6	0.85	flujo subcrítico
fucha	3	172.06	-	2542.26	3.59	0.85	flujo subcrítico
fucha	2	172.06	2541.38	2542.24	3.67	0.87	flujo subcrítico
fucha	1	172.06	2541.37	2542.21	4.06	1.01	flujo supercrítico
San Francisco	3	172.06	2542.5	2543.41	3.08	0.73	flujo subcrítico
San Francisco	2	172.06	2542.5	2543.29	3.94	1	flujo Critico
San Francisco	1	172.06	2541.43	2542.7	2.97	0.59	flujo subcrítico
Fucha	35	172.06	2543.16	2544.39	2.3	0.48	flujo subcrítico
Fucha	34	172.06	-	2544.36	2.34	0.49	flujo subcrítico
Fucha	33	172.06	-	2544.29	3.24	0.76	flujo subcrítico
Fucha	32	172.06	-	2544.24	3.37	0.77	flujo subcrítico
Fucha	31	172.06	-	2544.18	3.57	0.84	flujo subcrítico
Fucha	30	172.06	-	2544.13	3.55	0.83	flujo subcrítico
Fucha	29	172.06	-	2544.11	3.53	0.83	flujo subcrítico
Fucha	28	172.06	-	2544.1	3.54	0.83	flujo subcrítico
Fucha	27	172.06	-	2544.08	3.52	0.82	flujo subcrítico
Fucha	26	172.06	-	2544.05	3.33	0.76	flujo subcrítico
Fucha	25	172.06	-	2543.99	3.69	0.88	flujo subcrítico
Fucha	24	172.06	2543.12	2543.98	3.69	0.88	flujo subcrítico
Fucha	23	172.06	2543.07	2543.93	3.69	0.88	flujo subcrítico
Fucha	22	172.06	-	2543.91	3.68	0.88	flujo subcrítico
Fucha	21	172.06	2543.01	2543.87	3.7	0.88	flujo subcrítico

PERÍODO DE RETORNO 5 AÑOS							
River	River Sta	Q Total (m ³ /s)	Crit W.S.(m)	E.G. Elev (m)	Vel Chnl (m/s)	# Froude	Observación
Fucha	20	172.06	-	2543.83	3.69	0.88	flujo subcrítico
Fucha	19	172.06	2542.95	2543.81	3.7	0.88	flujo subcrítico
Fucha	18	172.06	2542.89	2543.75	3.7	0.88	flujo subcrítico
Fucha	17	172.06	-	2543.69	3.7	0.88	flujo subcrítico
Fucha	16	172.06	2542.8	2543.66	3.7	0.88	flujo subcrítico
Fucha	15	172.06	2542.77	2543.63	3.7	0.88	flujo subcrítico
Fucha	14	172.06	2542.71	2543.55	3.99	0.98	flujo subcrítico
Fucha	13	172.06	2542.58	2543.45	3.69	0.88	flujo subcrítico
Fucha	12	172.06	2542.53	2543.39	3.69	0.88	flujo subcrítico
Fucha	11	172.06	2542.47	2543.33	3.69	0.88	flujo subcrítico
Fucha	10	172.06	2542.41	2543.27	3.69	0.88	flujo subcrítico
Fucha	9	172.06	2542.35	2543.21	3.69	0.88	flujo subcrítico
Fucha	8	172.06	2542.29	2543.15	3.69	0.88	flujo subcrítico
Fucha	7	172.06	2542.23	2543.09	3.69	0.88	flujo subcrítico
Fucha	6	172.06	2542.16	2543.03	3.69	0.88	flujo subcrítico
Fucha	5	172.06	-	2542.97	3.68	0.88	flujo subcrítico
Fucha	4	172.06	2542.05	2542.91	3.69	0.88	flujo subcrítico
Fucha	3	172.06	2541.99	2542.85	3.68	0.88	flujo subcrítico
Fucha	2	172.06	2541.93	2542.79	3.68	0.88	flujo subcrítico
Fucha	1	172.06	-	2542.71	3.43	0.79	flujo subcrítico

Tabla 16. Resultados para un tiempo de retorno de 5 años

Revisando la velocidad máxima permisible (4.5 m/s a 6 m/s), en comparación con las velocidades máximas calculadas, se identifica que en ninguna de las secciones no se produce el efecto de erosión debido a que estas velocidades por sección son menores a la velocidad máxima permisible.

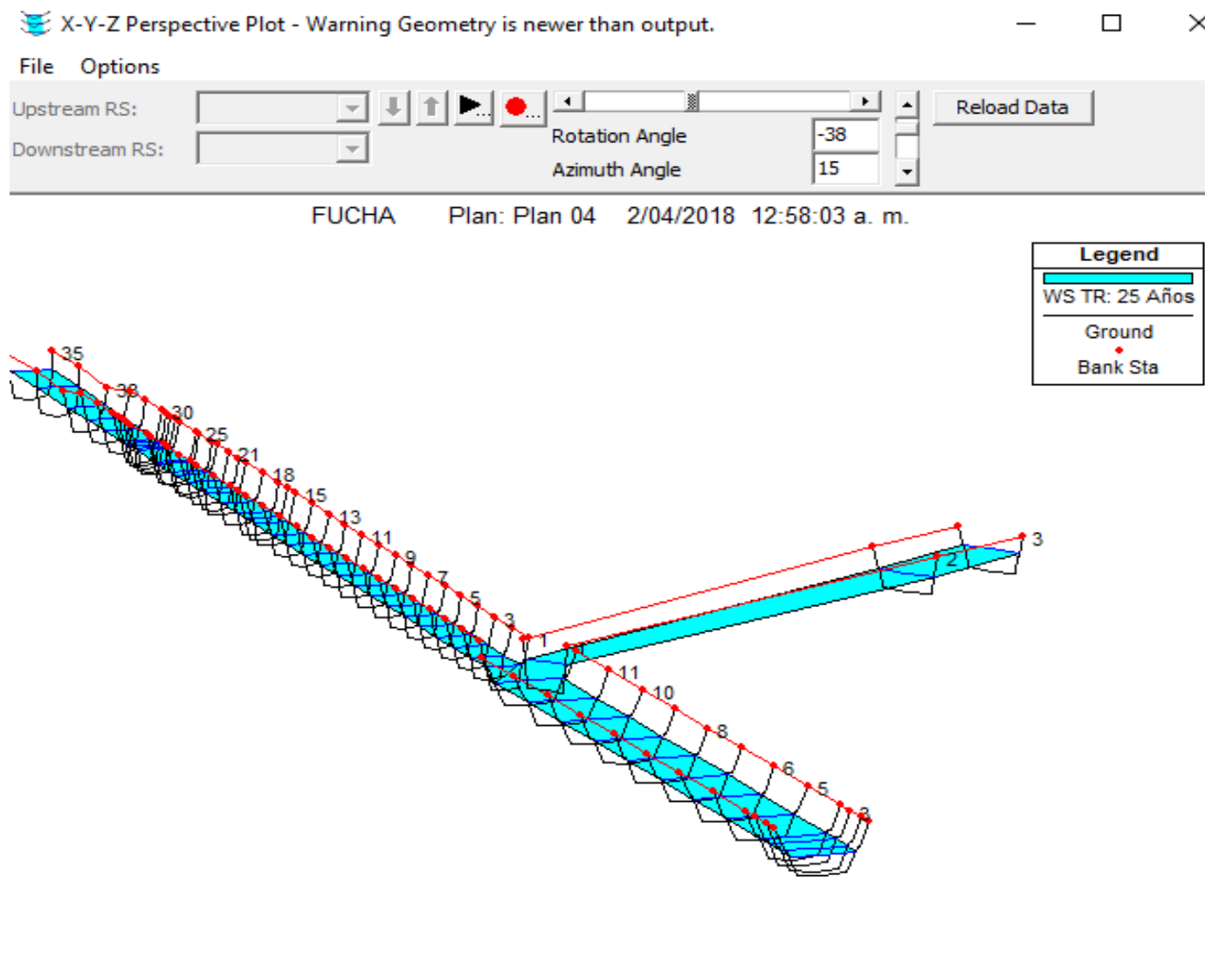


Imagen37. Perspectiva No 2 X-Y-Z del Escenario No 2 – Período de retorno 25 años

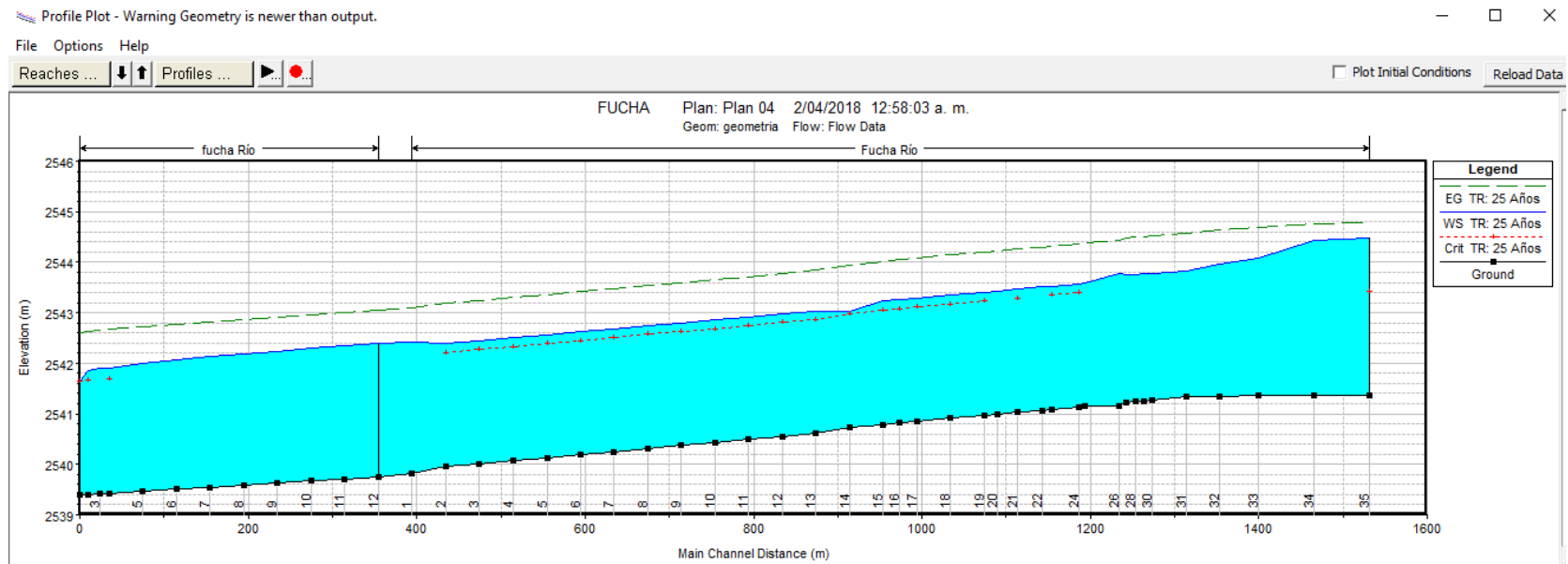


Imagen 38. Perfil del canal Fucha a un período de retorno de 25 años

PERÍODO DE RETORNO 25 AÑOS							
River	River Sta	Q Total (m3/s)	Crit W.S.(m)	E.G. Elev (m)	Vel Chnl (m/s)	# Froude	Observación
fucha	12	214.63	-	2543.04	3.58	0.78	flujo subcrítico
fucha	11	214.63	-	2543	3.59	0.78	flujo subcrítico
fucha	10	214.63	-	2542.96	3.61	0.78	flujo subcrítico
fucha	9	214.63	-	2542.91	3.63	0.79	flujo subcrítico
fucha	8	214.63	-	2542.87	3.65	0.79	flujo subcrítico
fucha	7	214.63	-	2542.82	3.68	0.8	flujo subcrítico
fucha	6	214.63	-	2542.77	3.71	0.81	flujo subcrítico
fucha	5	214.63	-	2542.73	3.77	0.83	flujo subcrítico
fucha	4	214.63	2541.69	2542.67	3.86	0.86	flujo subcrítico
fucha	3	214.63	-	2542.65	3.84	0.85	flujo subcrítico
fucha	2	214.63	2541.66	2542.63	3.91	0.88	flujo subcrítico
fucha	1	214.63	2541.65	2542.6	4.32	1.01	flujo supercrítico
San Francisco	3	214.63	2542.8	2543.78	3.3	0.73	flujo subcrítico
San Francisco	2	214.63	2542.8	2543.66	4.13	1	flujo Critico
San Francisco	1	214.63	2541.73	2543.09	3.36	0.63	flujo subcrítico
Fucha	35	214.63	2543.41	2544.79	2.5	0.49	flujo subcrítico
Fucha	34	214.63	-	2544.76	2.53	0.5	flujo subcrítico
Fucha	33	214.63	-	2544.69	3.43	0.75	flujo subcrítico
Fucha	32	214.63	-	2544.63	3.62	0.79	flujo subcrítico
Fucha	31	214.63	-	2544.58	3.82	0.85	flujo subcrítico
Fucha	30	214.63	-	2544.52	3.8	0.84	flujo subcrítico
Fucha	29	214.63	-	2544.5	3.78	0.83	flujo subcrítico
Fucha	28	214.63	-	2544.49	3.79	0.84	flujo subcrítico
Fucha	27	214.63	-	2544.47	3.77	0.83	flujo subcrítico
Fucha	26	214.63	-	2544.44	3.58	0.78	flujo subcrítico
Fucha	25	214.63	-	2544.38	3.95	0.89	flujo subcrítico
Fucha	24	214.63	2543.4	2544.37	3.96	0.89	flujo subcrítico
Fucha	23	214.63	2543.35	2544.32	3.95	0.89	flujo subcrítico
Fucha	22	214.63	-	2544.3	3.94	0.88	flujo subcrítico
Fucha	21	214.63	2543.29	2544.26	3.95	0.89	flujo subcrítico

PERÍODO DE RETORNO 25 AÑOS							
River	River Sta	Q Total (m ³ /s)	Crit W.S.(m)	E.G. Elev (m)	Vel Chnl (m/s)	# Froude	Observación
Fucha	20	214.63	-	2544.22	3.94	0.88	flujo subcrítico
Fucha	19	214.63	2543.23	2544.2	3.95	0.89	flujo subcrítico
Fucha	18	214.63	2543.17	2544.14	3.94	0.88	flujo subcrítico
Fucha	17	214.63	2543.11	2544.08	3.94	0.88	flujo subcrítico
Fucha	16	214.63	2543.08	2544.05	3.94	0.88	flujo subcrítico
Fucha	15	214.63	2543.05	2544.02	3.94	0.88	flujo subcrítico
Fucha	14	214.63	2542.99	2543.94	4.26	0.98	flujo subcrítico
Fucha	13	214.63	2542.87	2543.84	3.96	0.89	flujo subcrítico
Fucha	12	214.63	2542.81	2543.78	3.96	0.89	flujo subcrítico
Fucha	11	214.63	2542.75	2543.72	3.96	0.89	flujo subcrítico
Fucha	10	214.63	2542.69	2543.66	3.96	0.89	flujo subcrítico
Fucha	9	214.63	2542.63	2543.6	3.96	0.89	flujo subcrítico
Fucha	8	214.63	2542.57	2543.54	3.95	0.89	flujo subcrítico
Fucha	7	214.63	2542.51	2543.48	3.95	0.89	flujo subcrítico
Fucha	6	214.63	2542.45	2543.42	3.95	0.89	flujo subcrítico
Fucha	5	214.63	2542.39	2543.36	3.94	0.88	flujo subcrítico
Fucha	4	214.63	2542.33	2543.3	3.94	0.88	flujo subcrítico
Fucha	3	214.63	2542.27	2543.24	3.93	0.88	flujo subcrítico
Fucha	2	214.63	2542.21	2543.18	3.93	0.88	flujo subcrítico
Fucha	1	214.63	-	2543.1	3.69	0.81	flujo subcrítico

Tabla 17. Resultados para un tiempo de retorno de 25 años

En comparación a los resultados obtenidos para un tiempo de retorno de 5 años la velocidad y el número de Froude no tienen un aumento drástico. Pero se identifica que en más perfiles se puede ver la diferencia de nivel en un promedio de 0.97m que existe entre la línea de energía (línea Verde), el nivel crítico (línea Roja) y el nivel de la lámina de agua, ya que la línea de energía está sobrepasando la zona revestida de la cuenca.

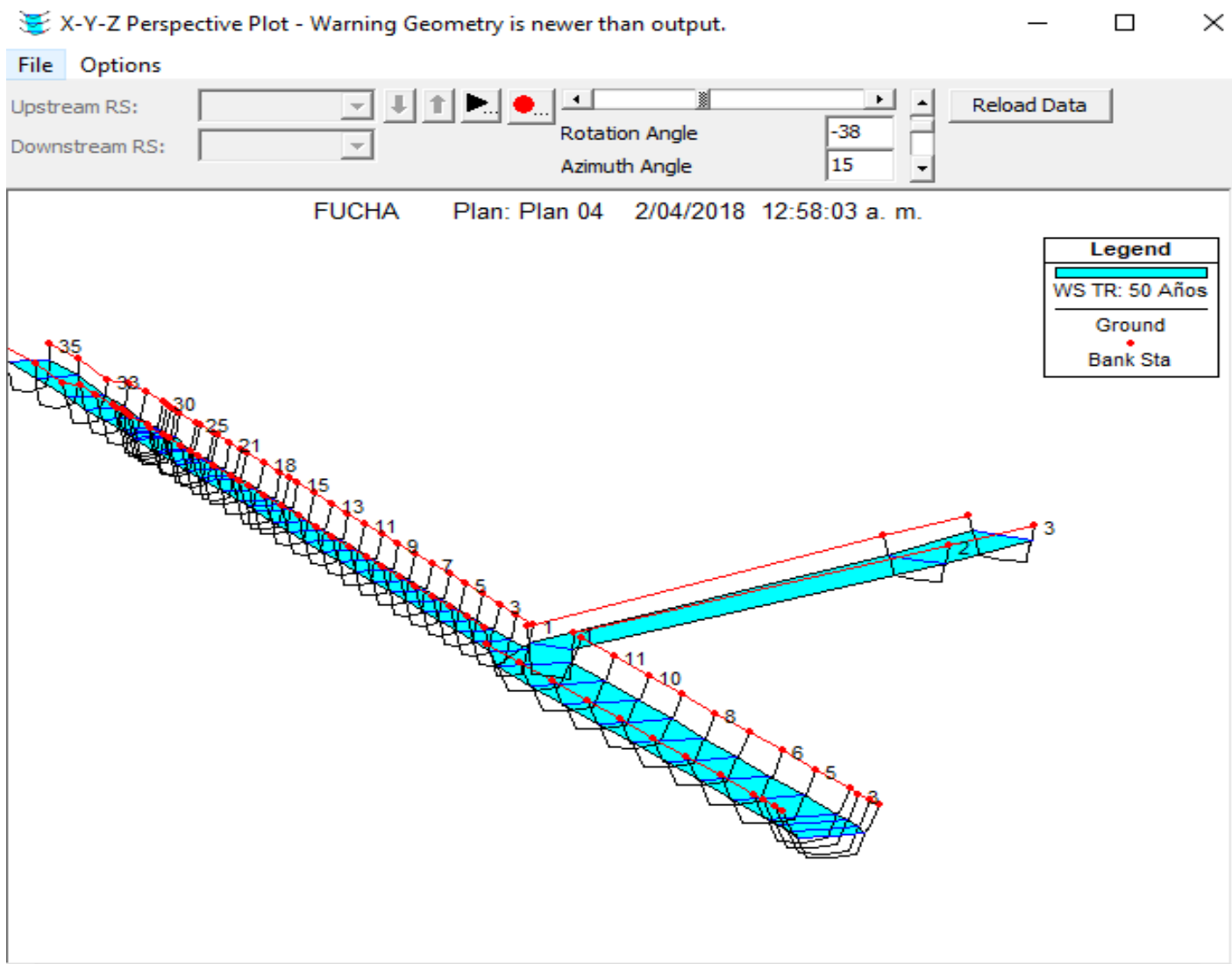


Imagen40. Perspectiva No 2 X-Y-Z del Escenario No 2 – Período de retorno 50 años

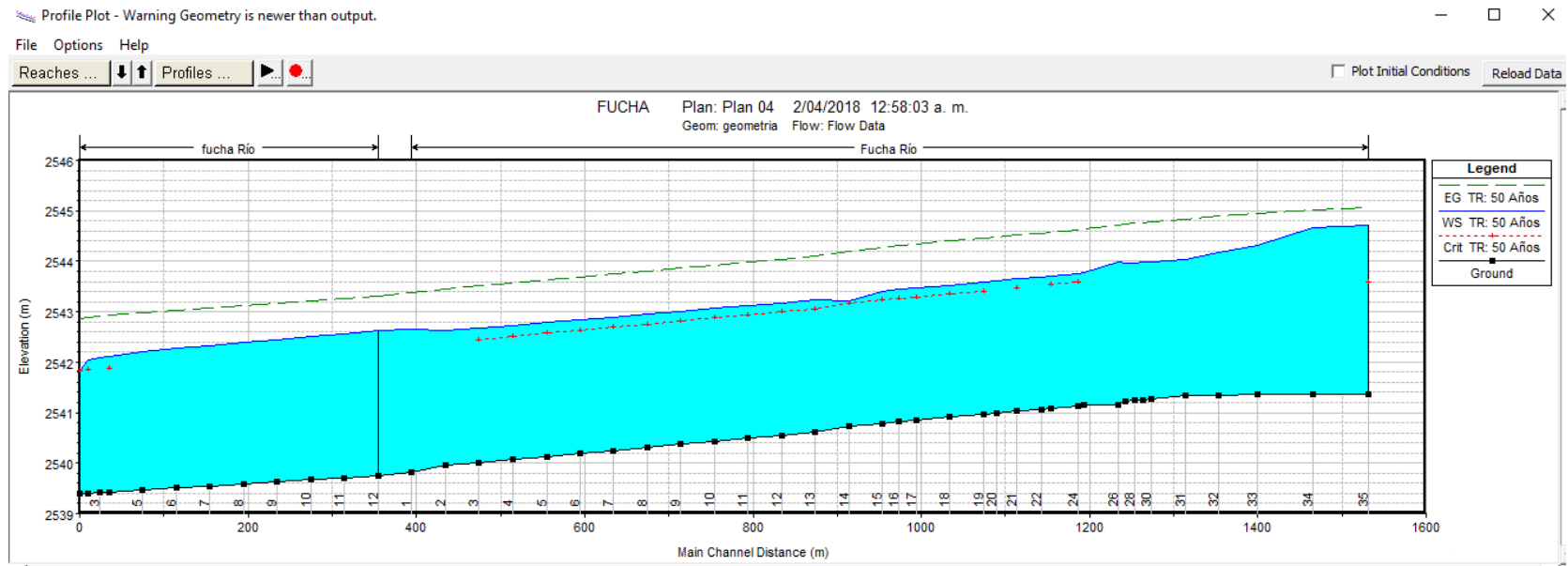


Imagen 41. Perfil del canal Fucha a un período de retorno de 50 años

PERÍODO DE RETORNO 50 AÑOS							
River	River Sta	Q Total (m3/s)	Crit W.S.(m)	E.G. Elev (m)	Vel Chnl (m/s)	# Froude	Observación
fucha	12	245.03	-	2543.31	3.68	0.79	flujo subcrítico
fucha	11	245.03	-	2543.27	3.7	0.8	flujo subcrítico
fucha	10	245.03	-	2543.22	3.73	0.81	flujo subcrítico
fucha	9	245.03	-	2543.17	3.77	0.82	flujo subcrítico
fucha	8	245.03	-	2543.13	3.81	0.8	flujo subcrítico
fucha	7	245.03	-	2543.08	3.84	0.81	flujo subcrítico
fucha	6	245.03	-	2543.03	3.88	0.82	flujo subcrítico
fucha	5	245.03	-	2542.98	3.93	0.84	flujo subcrítico
fucha	4	245.03	2541.87	2542.93	4.02	0.86	flujo subcrítico
fucha	3	245.03	-	2542.91	4	0.86	flujo subcrítico
fucha	2	245.03	2541.85	2542.89	4.07	0.88	flujo subcrítico
fucha	1	245.03	2541.83	2542.86	4.48	1	flujo Critico
San Francisco	3	245.03	2542.96	2544.02	3.46	0.74	flujo subcrítico
San Francisco	2	245.03	2542.96	2543.9	4.3	1.01	flujo supercrítico
San Francisco	1	245.03	2541.94	2543.36	3.6	0.66	flujo subcrítico
Fucha	35	245.03	2543.58	2545.06	2.62	0.49	flujo subcrítico
Fucha	34	245.03	-	2545.03	2.66	0.5	flujo subcrítico
Fucha	33	245.03	-	2544.96	3.53	0.74	flujo subcrítico
Fucha	32	245.03	-	2544.9	3.76	0.82	flujo subcrítico
Fucha	31	245.03	-	2544.84	3.97	0.85	flujo subcrítico
Fucha	30	245.03	-	2544.78	3.94	0.84	flujo subcrítico
Fucha	29	245.03	-	2544.77	3.92	0.83	flujo subcrítico
Fucha	28	245.03	-	2544.75	3.93	0.84	flujo subcrítico
Fucha	27	245.03	-	2544.74	3.91	0.83	flujo subcrítico
Fucha	26	245.03	-	2544.7	3.72	0.8	flujo subcrítico
Fucha	25	245.03	-	2544.64	4.13	0.9	flujo subcrítico
Fucha	24	245.03	2543.59	2544.63	4.14	0.9	flujo subcrítico
Fucha	23	245.03	2543.53	2544.58	4.13	0.9	flujo subcrítico
Fucha	22	245.03	-	2544.56	4.12	0.89	flujo subcrítico
Fucha	21	245.03	2543.47	2544.52	4.13	0.9	flujo subcrítico

PERÍODO DE RETORNO 50 AÑOS							
River	River Sta	Q Total (m ³ /s)	Crit W.S.(m)	E.G. Elev (m)	Vel Chnl (m/s)	# Froude	Observación
Fucha	20	245.03	-	2544.48	4.12	0.89	flujo subcrítico
Fucha	19	245.03	2543.41	2544.46	4.13	0.9	flujo subcrítico
Fucha	18	245.03	2543.35	2544.4	4.12	0.9	flujo subcrítico
Fucha	17	245.03	2543.29	2544.34	4.12	0.89	flujo subcrítico
Fucha	16	245.03	2543.26	2544.31	4.12	0.89	flujo subcrítico
Fucha	15	245.03	2543.24	2544.28	4.12	0.89	flujo subcrítico
Fucha	14	245.03	2543.17	2544.2	4.4	0.98	flujo subcrítico
Fucha	13	245.03	2543.05	2544.1	4.11	0.89	flujo subcrítico
Fucha	12	245.03	2542.99	2544.04	4.11	0.89	flujo subcrítico
Fucha	11	245.03	2542.94	2543.98	4.1	0.89	flujo subcrítico
Fucha	10	245.03	2542.88	2543.92	4.1	0.89	flujo subcrítico
Fucha	9	245.03	2542.81	2543.86	4.09	0.89	flujo subcrítico
Fucha	8	245.03	2542.75	2543.8	4.09	0.88	flujo subcrítico
Fucha	7	245.03	2542.69	2543.74	4.08	0.88	flujo subcrítico
Fucha	6	245.03	2542.63	2543.68	4.07	0.88	flujo subcrítico
Fucha	5	245.03	2542.57	2543.63	4.05	0.87	flujo subcrítico
Fucha	4	245.03	2542.51	2543.57	4.05	0.87	flujo subcrítico
Fucha	3	245.03	2542.45	2543.51	4.03	0.87	flujo subcrítico
Fucha	2	245.03	-	2543.45	4.01	0.86	flujo subcrítico
Fucha	1	245.03	-	2543.37	3.78	0.82	flujo subcrítico

Tabla 18. Resultados para un tiempo de retorno de 50 años

En comparación a los resultados obtenidos para un tiempo de retorno de 5 y 25 años la velocidad y la diferencia de nivel que existe entre la línea de energía y el nivel crítico no tienen un aumento drástico. Pero se identifica que el número de Froude de la primera sección aguas abajo del río Fucha cambio de flujo supercrítico a flujo crítico.

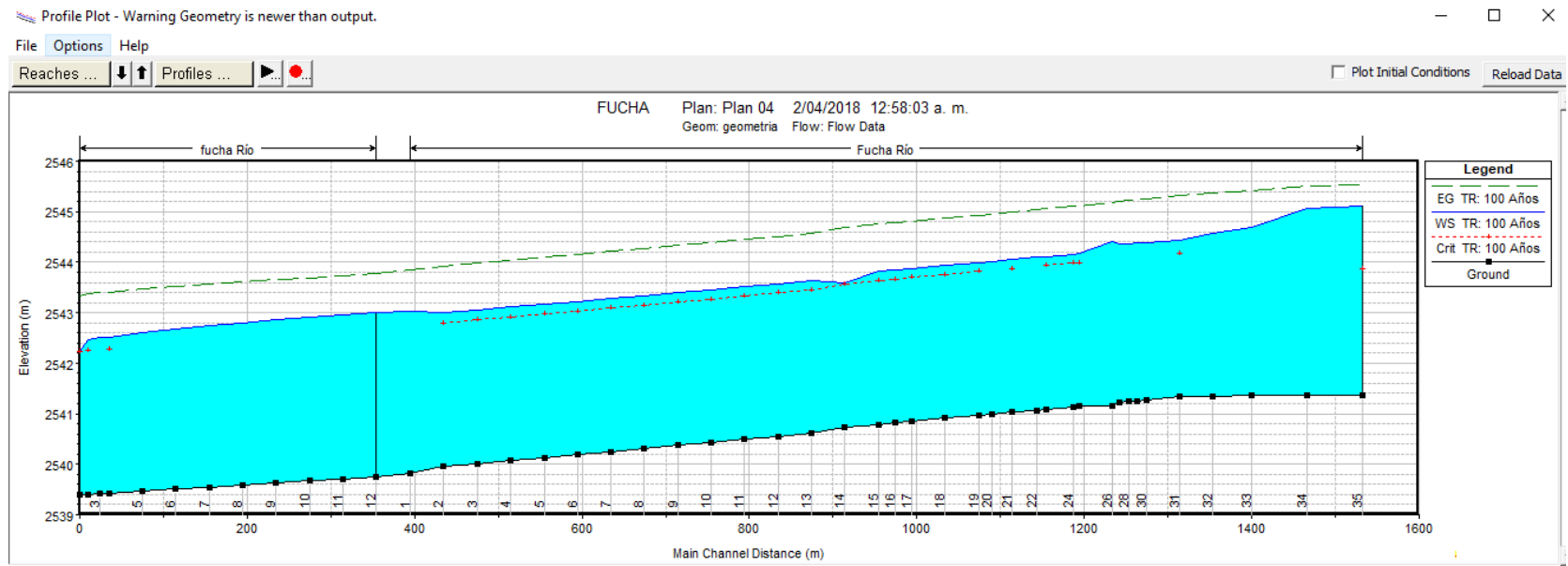


Imagen 44. Perfil del canal Fucha a un período de retorno de 100 años

PERÍODO DE RETORNO 100 AÑOS							
River	River Sta	Q Total (m3/s)	Crit W.S.(m)	E.G. Elev (m)	Vel Chnl (m/s)	# Froude	Observación
fucha	12	305.71	-	2543.78	3.91	0.79	flujo subcrítico
fucha	11	305.71	-	2543.74	3.92	0.79	flujo subcrítico
fucha	10	305.71	-	2543.69	3.93	0.8	flujo subcrítico
fucha	9	305.71	-	2543.65	3.95	0.8	flujo subcrítico
fucha	8	305.71	-	2543.6	3.97	0.81	flujo subcrítico
fucha	7	305.71	-	2543.56	4	0.82	flujo subcrítico
fucha	6	305.71	-	2543.51	4.04	0.83	flujo subcrítico
fucha	5	305.71	-	2543.46	4.09	0.84	flujo subcrítico
fucha	4	305.71	2542.28	2543.41	4.18	0.87	flujo subcrítico
fucha	3	305.71	-	2543.39	4.16	0.86	flujo subcrítico
fucha	2	305.71	2542.24	2543.37	4.23	0.88	flujo subcrítico
fucha	1	305.71	2542.23	2543.34	4.65	1.01	flujo supercrítico
San Francisco	3	305.71	2543.27	2544.46	3.74	0.75	flujo subcrítico
San Francisco	2	305.71	2543.27	2544.35	4.6	1.01	flujo supercrítico
San Francisco	1	305.71	2542.32	2543.85	4.09	0.72	flujo subcrítico
Fucha	35	305.71	2543.88	2545.53	2.88	0.5	flujo subcrítico
Fucha	34	305.71	-	2545.5	2.91	0.51	flujo subcrítico
Fucha	33	305.71	-	2545.42	3.79	0.75	flujo subcrítico
Fucha	32	305.71	-	2545.37	3.95	0.8	flujo subcrítico
Fucha	31	305.71	2544.17	2545.31	4.15	0.86	flujo subcrítico
Fucha	30	305.71	-	2545.26	4.12	0.85	flujo subcrítico
Fucha	29	305.71	-	2545.24	4.1	0.84	flujo subcrítico
Fucha	28	305.71	-	2545.23	4.11	0.85	flujo subcrítico
Fucha	27	305.71	-	2545.21	4.09	0.84	flujo subcrítico
Fucha	26	305.71	-	2545.18	3.91	0.79	flujo subcrítico
Fucha	25	305.71	2544	2545.11	4.3	0.9	flujo subcrítico
Fucha	24	305.71	2543.98	2545.1	4.3	0.9	flujo subcrítico
Fucha	23	305.71	2543.93	2545.05	4.3	0.9	flujo subcrítico
Fucha	22	305.71	-	2545.04	4.28	0.9	flujo subcrítico
Fucha	21	305.71	2543.87	2544.99	4.29	0.9	flujo subcrítico

PERÍODO DE RETORNO 100 AÑOS							
River	River Sta	Q Total (m3/s)	Crit W.S.(m)	E.G. Elev (m)	Vel Chnl (m/s)	# Froude	Observación
Fucha	20	305.71	-	2544.96	4.28	0.9	flujo subcrítico
Fucha	19	305.71	2543.82	2544.94	4.29	0.9	flujo subcrítico
Fucha	18	305.71	2543.75	2544.88	4.29	0.9	flujo subcrítico
Fucha	17	305.71	2543.7	2544.82	4.28	0.9	flujo subcrítico
Fucha	16	305.71	2543.66	2544.79	4.28	0.9	flujo subcrítico
Fucha	15	305.71	2543.63	2544.76	4.28	0.9	flujo subcrítico
Fucha	14	305.71	2543.58	2544.68	4.6	0.99	flujo subcrítico
Fucha	13	305.71	2543.46	2544.57	4.31	0.9	flujo subcrítico
Fucha	12	305.71	2543.39	2544.51	4.3	0.9	flujo subcrítico
Fucha	11	305.71	2543.34	2544.45	4.3	0.9	flujo subcrítico
Fucha	10	305.71	2543.27	2544.39	4.3	0.9	flujo subcrítico
Fucha	9	305.71	2543.22	2544.33	4.29	0.9	flujo subcrítico
Fucha	8	305.71	2543.15	2544.28	4.29	0.9	flujo subcrítico
Fucha	7	305.71	2543.1	2544.22	4.28	0.9	flujo subcrítico
Fucha	6	305.71	2543.03	2544.16	4.28	0.9	flujo subcrítico
Fucha	5	305.71	2542.97	2544.1	4.27	0.89	flujo subcrítico
Fucha	4	305.71	2542.91	2544.04	4.26	0.89	flujo subcrítico
Fucha	3	305.71	2542.85	2543.98	4.25	0.89	flujo subcrítico
Fucha	2	305.71	2542.8	2543.92	4.24	0.89	flujo subcrítico
Fucha	1	305.71	-	2543.84	4.01	0.82	flujo subcrítico

Tabla 19. Resultados para un tiempo de retorno de 100 años

En comparación a los resultados obtenidos para un tiempo de retorno de 5, 25 y 50 años la velocidad máxima permisible (4.5 m/s a 6m/s) en este período de retorno las velocidades máximas calculadas tienden a estar cerca del rango permisible y se concluye que esto puede afectar a que el flujo del canal sea supercrítico.

Así mismo, se identifica que en las secciones aguas arriba del río Fucha el número Froude tiende a llegar a nivel crítico pero solo para el flujo de 100 años.

8. ETAPA DE CONCLUSIÓN

8.1. Análisis

Para el modelo del escenario 1, se investigó la geometría de las secciones que trazan el nivel del flujo del río, con el fin de interpretar la complejidad del sistema del río Fucha y así calibrar mediante el programa Hec-Ras su comportamiento a 5, 25, 50 y 100 años.

El modelo se corrió en Steady Flow (flujo constante) en el cual permanecerá de forma constante o flujo uniforme, permitiendo que con régimen mixto el programa calculara en que secciones se presentara flujo crítico, subcrítico y supercrítico.

Los cambios en la geometría que ocasionan variaciones en el número de Froude son interpretados principalmente por el caudal de la cuenca del río Fucha, la variación en la profundidad y del paso de flujo uniforme a flujo gradualmente variado.

Se observa que para los tiempos de retorno de 5, 25, 50 y 100 años en el escenario 2, el nivel del agua de la cuenca rebosa la sección revestida, indicando la necesidad de mantener los jarillones naturales, para mantener encausado los caudales en tiempo de retorno mayores a 5 años. Así mismo permitiría mantener protegida de inundaciones las áreas aferentes por el factor cambio climático.

El número de Froude estimado en cada sección transversal para el escenario 2 presento un Froude menor a 1 durante la modelación para cada período de retorno, demostrando que el flujo es subcrítico y controlado. No obstante, en la última sección aguas abajo de la avenida Boyacá y del río San Francisco el flujo cambia de supercrítico a crítico.

A pesar de que no se presenta erosión, es importante conocer si existe este riesgo, se necesita conocer la velocidad máxima permisible de acuerdo a las características de las secciones, y luego si se cumple que la $V_{m\acute{a}x}$ Permisible es menor a $V_{m\acute{a}x}$ Calculada por Hec-Ras, entonces si existe este fenómeno.

El riesgo de inundación se genera cuando la altura del borde libre es menor o igual a 70 cm. Aunque para el caso en estudio no se tiene riesgos inminentes de inundación para los períodos de retorno seleccionados, el modelo hidráulico muestra que el aumento súbito del tirante y una pérdida de energía bastante considerable en un tramo relativamente corto del flujo del agua puede generar un resalto hidráulico, puesto que pasa de régimen supercrítico a régimen subcrítico tal como se evidencia en los cálculos anteriores.

8.2. Conclusiones

Al generar un modelado en Hec-Ras, este tiene como base la modelación hidráulica unidimensional, compuesto por cuatro tipos de análisis que se utilizan teniendo en cuenta las características del flujo: régimen permanente, no permanente, transporte de sedimentos y análisis de calidad de aguas, permitiendo entre otros determinar estudios de inundación de acuerdo al comportamiento de sus zonas, lo que nos define cual es el área en peligro y en qué período será muy probable su ocurrencia.

El proceso matemático de Hec-Ras se basa en la solución de la ecuación de energía unidimensional donde las pérdida de energía se evalúan por fricción y contracción utilizando la ecuación de momento que se puede utilizar cuando el perfil de la superficie del agua es rápidamente variada y donde se incluyen saltos hidráulicos, un sistema dendrítico o un solo tramo de un río, para flujo subcrítico, crítico y supercrítico o incluso de flujo mixto, en el tramo modelado son necesarios, debido a que hacen parte de un análisis adicional que previamente es evaluado para generar detalle en el modelo de estudio, que el usuario requiera.

Se modeló con los caudales en los tiempos de retorno de 5, 25, 50 y 100 años con los datos obtenidos por la empresa INGETEC y adicionalmente un análisis de los datos arrojados por la estación el Delirio a través del método de Gumbel, en la cual se encontraron intensidades de lluvias donde la más crítica no sobrepasa los 113.4 mm/h en los primeros 15 minutos en cada período de retorno.

La elección del número de Manning dependió directamente de distintas características en la estructura ecológica, geométrica y geográfica del tramo, entre las

cuales están relacionadas, el tipo de suelo, el tipo de sección, que para este caso es irregular y tipo de revestimiento en concreto, es importante aclarar que, aunque presenta una zona superior de revestimiento con pasto, este no añade sedimentos al río.

En la modelación del río Fucha se presentó un predominio de régimen subcrítico, lo que indica que el canal es controlado puesto que no presentara resaltos hidráulicos significativos.

Es importante aclarar que en las secciones donde se presenta flujo supercrítico se presenta por las fuerzas inerciales más notables por lo que genera una velocidad de flujo muy alta donde la profundidad de flujo baja generándose así en condiciones de pendiente alta, a diferencia del flujo subcrítico donde la velocidad es baja teniendo una profundidad de flujo alta y generándose en condiciones de baja pendiente.

Es importante tener claro todos los datos que se van a ingresar al programa ya que el análisis ingenieril es muy importante sobre todo a la hora de tomar decisiones con el modelado del programa, para saber si el programa está arrojando datos reales o si por el contrario necesitan más detalle.

El programa Hec-Ras tiene diferentes versiones, para garantizar el buen manejo del programa, es importante verificar cual cumple los requisitos de su ordenador. En este caso se utilizó la versión 5.0.3.

Se propone incorporar obras fluviales de adecuación del cauce que permitan intercalar zonas de velocidad alta y zonas de velocidad baja, zonificar la naturalización del cauce con la modificación de la superficie del cauce y generación de heterogeneidad geométrica e hidráulica.

Desde el punto de vista de funcionamiento hidráulico, el sistema del canal tiene una buena capacidad incluso para manejar eventos de lluvias asociados a tiempo de retorno de 100 años. Esta capacidad es importante resaltar, se logran teniendo como escenario la adecuación hidráulica en el río Fucha; esto reivindica la importancia de dicha obra para la cuenca.

Se cuenta con que este modelo contribuya a entender el estado de la cuenca y las dinámicas propias del entono para generar tendencias de subsistemas que favorezcan y

mejoren las condiciones actuales para organizar actividades de gestión que sean clave para el análisis de las limitantes y condicionamientos no solo de orden biofísico para el manejo natural sino también los condicionamientos de índole social y legal que existan debido a la ocupación territorial, que para esta investigación se encuentra en un área urbana.

9. BIBLIOGRAFÍA

Ingetec-Ingenieros Consultores. (2016). Plan maestro de alcantarillad, Documento No PMAA-AL-FINAL. Contrato 1-02-25500-1318-2013. (Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá).

I.H.T. Ltda. (2010). Modelación hidráulica río Fucha, Modelación hidráulica para las cuencas de los ríos Tunjuelo y Fucha en las condiciones actuales. Contrato 2-02-25500-738-2009. (Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá).

Estudios Técnicos S.A. (2012). Modelos hidrológicos e hidráulicos de redes troncales del sistema sanitario y pluvial, Modelo de simulación hidráulica y de operación en los interceptores Tunjuelo-Canoas, Tunjuelo bajo y Fucha-Tunjuelo. Contrato 2-02-25500-0464-2011. (Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá).

Francesconi, R., Martínez, I. y Díaz, P. (2014). Bienes y servicios ecosistémicos en la planificación y gestión de áreas urbanas consolidadas. *Territorios*, 30, 191-218. (doi: [dx.doi.org/10.12804/territ30.2014.09](https://doi.org/10.12804/territ30.2014.09)).

Duque Sima., (2007) Diagnostico, zonificación y prospectiva de la cuenca el río Fucha. Contrato 1-02-24100-696-2006.POMCA-FUCHA. (Secretaria Distrital de Ambiente)

Dirección de Ambiente y Ruralidad. (2013). Caracterización y lineamientos ambientales Operación Estratégica Parque corredor ecológico río Fucha. (Secretaria de Planeación).

Aparicio Mijares, F (1992). Fundamentos de hidrología de superficie. Grupo Noriega Editores.

Roa Fernández, Y. & Afanador, I. (2013). Análisis de riesgo por inundaciones en la zona de Fontibón-barrio Cassandra. Universidad Católica de Colombia. Bogotá D.C

Franco Idagarra, F. L., (2012). Respuestas y propuestas ante el riesgo de inundaciones de las ciudades colombianas. Revista de ingeniería No.31; p.97-108 Bogotá. 0121-4993.

Rodríguez Salinas, L.C., (2014). Control de inundaciones debido a crecientes mediante el uso de estructuras hidráulicas, en el Municipio de Chía Cundinamarca, Ríos Fríos, Sector puente Cacique K8+146-K7+921. Universidad Piloto de Colombia.

Gonzales Espinosa, O.A., (2009). Estrategias de recuperación del Río Fucha, Especialización en la Ingeniería Ambiental. Universidad Industrial de Santander.

10. GLOSARIO

- 1. Acueducto:** “Sistema para abastecimiento de agua.” (EAAB)
- 2. Afluente:** “Fluido que ingresa a un sitio” (EAAB)
- 3. Agitación hidráulica:** “Movimiento obtenido al aprovechar la energía del agua para producir turbulencia.” (EAAB)
- 4. Agua de infiltración:** “Agua proveniente del suelo; puede entrar al sistema de alcantarillado.” (EAAB)
- 5. Agua lluvia:** “La proveniente de la precipitación pluvial.” (EAAB)

6. **Agua residual:** “Desechos líquidos provenientes de residencias, edificios, instituciones, fábricas o industrias.” (EAAB)
7. **Alcantarillado:** “Conjunto de obras para la recolección, conducción y disposición final de las aguas residuales, aguas servidas y/o de las aguas lluvias.” (EAAB)
8. **Aliviadero:** “Estructura diseñada con el propósito de aliviar los caudales que exceden la capacidad del sistema para conducirlos a un sistema de drenaje.” (EAAB)
9. **Área urbanizada:** “Superficie en la que se han alterado las condiciones naturales del terreno como consecuencia de la construcción de obras tales como vías, parqueaderos o edificaciones, aumentando sus condiciones de impermeabilidad originales y reduciendo su capacidad de infiltración.” (EAAB)
10. **Calibración:** “Procedimiento para determinar la graduación de un instrumento que proporciona medidas cuantitativas.” (EAAB)
11. **Canal:** “Conducto descubierto que transporta un fluido a presión atmosférica.” (EAAB)
12. **Capacidad hidráulica:** “Caudal máximo que puede manejar un componente o una estructura hidráulica conservando sus condiciones normales de operación.” (EAAB)
13. **Capacidad máxima:** “Caudal máximo de diseño de una estructura hidráulica.” (EAAB)
14. **Cauce:** “Terreno por donde corren las aguas de un río o un arroyo. Conducto descubierto por donde corren las aguas para riegos y otros usos.” (EAAB)
15. **Caudal de diseño:** “Estimado, para diseñar los equipos, dispositivos y estructuras de un sistema determinado.” (EAAB)
16. **Colector:** “Conducto que forma parte del sistema de alcantarillado, diseñado y dispuesto para recolectar y conducir aguas residuales, lluvias o combinadas.” (EAAB)
17. **Conductividad hidráulica:** “Caudal que pasa por un área unitaria bajo un gradiente unitario y que mide la capacidad de un acuífero para transportar agua.” (EAAB)
18. **Drenaje:** “Estructura destinada a la evacuación de agua.” (EAAB)

- 19. Escorrentía:** “Cantidad de agua, generalmente lluvia, que no se filtra en el piso o terreno y corre superficialmente.” (EAAB)
- 20. Filtración:** “Proceso mediante el cual se remueven las partículas suspendidas y coloidales del agua al hacerlas pasar a través de un medio poroso.” (EAAB)
- 21. Frecuencia:** “En hidrología, número de veces que en promedio se presenta un evento con una determinada magnitud, durante un período definido.” (EAAB)
- 22. Hidrograma:** “Gráfica que representa la variación del caudal con el tiempo en un sitio determinado, que describe usualmente la respuesta hidrológica de un área de drenaje a un evento de precipitación.” (EAAB)
- 23. Interceptor:** “Conducto cerrado que recibe las afluencias de redes locales y/o secundarias y que generalmente se construye paralelo a quebradas o ríos, con el fin de evitar el vertimiento de las aguas residuales a los mismos.” (EAAB)
- 24. Impacto ambiental:** “Afectación del entorno ocasionada por la realización de una obra.” (EAAB)
- 25. Infiltración:** “Proceso mediante el cual el agua penetra desde la superficie del terreno hacia el suelo.” (EAAB)
- 26. Línea de energía:** “Línea o elevación obtenida como la suma de la carga de presión, la carga de velocidad y la diferencia de altura topográfica respecto a un datum o nivel de referencia.” (EAAB)
- 27. Nivel freático:** “Tabla de agua, es la profundidad a la cual se encuentra el agua en el suelo. Pueden encontrarse varios niveles de acuerdo con la permeabilidad y la secuencia de los estratos.” (EAAB)
- 28. Operación:** “Conjunto de acciones para mantener en funcionamiento un sistema.” (EAAB)
- 29. Pérdida de carga:** “Disminución de la energía de un fluido debido a la resistencia que encuentra a su paso.” (EAAB)
- 30. Período de diseño:** “Tiempo para el cual se diseña un sistema o los componentes de éste, en el cual su capacidad le permite atender la demanda proyectada para este tiempo.” (EAAB)

- 31. Período de retorno:** “Número de años que en promedio la magnitud de un evento extremo es igualada o excedida.” (EAAB)
- 32. Permeabilidad:** “Propiedad que tiene los cuerpos de permitir el paso de un fluido a través de él.” (EAAB)
- 33. Porosidad:** “Relación entre el volumen de vacíos y el volumen total de una muestra de suelo.” (EAAB)
- 34. Precisión:** “Es el límite de los errores cometidos cuando el instrumento se emplea en condiciones normales de servicio. Hay varias formas de expresarla: porcentaje del rango en unidades de la variable medida; porcentaje de la lectura efectuada; porcentaje del valor máximo del campo de medida.” (EAAB)
- 35. Sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS):** “Son el conjunto de soluciones que se adoptan en un sistema de drenaje urbano con el objeto de retener el mayor tiempo posible la escorrentía de las aguas lluvias en su punto de origen, sin generar problemas de inundación, minimizando los impactos del sistema urbano en cuanto a la cantidad y calidad de la escorrentía y evitando así sobredimensionamientos o ampliaciones innecesarias en el sistema. La filosofía de los SUDS es reproducir, de la manera más fiel posible, el ciclo hidrológico natural previo a la urbanización o actuación humana.” (EAAB)
- 36. Rango de medición:** “Es el espectro o conjunto de valores de la variable medida que están comprendidos dentro de los límites inferior y superior de medida o transmisión del instrumento; se expresa en los dos valores extremos.” (EAAB)
- 37. Rebosadero:** “Estructura hidráulica destinada a evitar que el nivel del agua sobrepase una cota determinada; permite la evacuación del agua de exceso en un embalse, tanque o cualquier estructura que almacene agua hacia un lugar conveniente.” (EAAB)
- 38. Red de distribución:** “Conjunto de conducciones, tuberías, accesorios y estructuras que transportan el agua desde el tanque de almacenamiento o planta de tratamiento hasta los puntos de consumo.” (EAAB)
- 39. Red matriz:** “Parte de la red de distribución que conforma la malla principal de servicio de una población y que distribuye el agua procedente de la conducción,

planta de tratamiento o tanques de compensación a las redes secundarias. La red primaria mantiene las presiones básicas de servicio para el funcionamiento correcto de todo el sistema, y generalmente no reparte agua en ruta.” (EAAB)

40. Red secundaria: “Parte de la red de distribución que se deriva de la red primaria y que distribuye el agua a los barrios y urbanizaciones de la ciudad y que puede repartir agua en ruta.” (EAAB)

41. Registro de control de calidad: “Recopilación escrita de los resultados de los análisis del agua que se suministra a la población.” (EAAB)

42. Red secundaria de alcantarillado pluvial y combinado: “Incluye todos los elementos de las redes de drenaje pluvial o combinado que no estén incluidos en la definición de red troncal” (EAAB)

43. Red secundaria de alcantarillado sanitario: “Incluye todos los elementos de las redes de drenaje sanitario que no estén incluidos en la definición de red troncal.” (EAAB)

44. Red troncal de alcantarillado pluvial y combinado: “La red troncal de alcantarillado pluvial y combinado corresponde a todos los elementos de primer, segundo y tercer orden, independiente del diámetro o del tamaño, excluyendo aquellos que reciban conexiones domiciliarias de forma directa. Los elementos de primer orden son los canales Fucha, Salitre, humedal Jaboque y Torca, además del río Tunjuelo. Los elementos de segundo orden son aquellos que descargan a los antes mencionados y pueden ser canales abiertos o conductos cerrados. La red de tercer orden incluye todos los elementos que descargan a la red de segundo orden y pueden ser canales o conductos cerrados. Adicional a los anteriores, cualquier canal abierto que drene a la red de tercer orden se incluirá dentro de la denominada red troncal. Los elementos de la red troncal existente se presentan en la capa correspondiente del Sistema de Información Geográfico Unificado Empresarial (SIGUE); en esta se consideran algunos ramales principales adicionales, que no cumplen estrictamente con la definición anterior, los cuales han sido incluidos a criterio de la Empresa.” (EAAB)

- 45. Red troncal de alcantarillado sanitario:** “La red troncal de alcantarillado sanitario corresponde a todos los elementos de primer, segundo y tercer orden, independiente del diámetro o del tamaño, excluyendo aquellos que reciban conexiones domiciliarias de forma directa. Los elementos de primer orden son los interceptores que se desarrollan a lo largo de los canales Fucha, Salitre y Torca, del río Bogotá y del río Tunjuelo. Los elementos de segundo orden son aquellos que descargan a los antes mencionados. La red de tercer orden incluye todos los elementos que descargan a la red de segundo orden. Los elementos de la red troncal descrita se presentan en la capa correspondiente del Sistema de Información Geográfico Unificado Empresarial (SIGUE); se consideran algunos ramales principales adicionales, que no cumplen estrictamente con la definición anterior, los cuales han sido incluidos a criterio de la Empresa.” (EAAB)
- 46. Resalto hidráulico:** “Discontinuidad de la superficie del agua por la cual el flujo cambia de una manera abrupta de un régimen rápido (supercrítico) a uno tranquilo (subcrítico) y depende del número de Froude.” (EAAB)
- 47. Riesgo:** “Medida de la probabilidad para que pueda ocurrir un daño a la vida, a la salud, a alguna propiedad o al ambiente como resultado de un peligro dado. Consecuencias económicas, sociales o ambientales potenciales, que se pueden generar como resultado de los daños o la pérdida de función de un sistema durante un tiempo de exposición definido. Se expresa matemáticamente, como la probabilidad de exceder una pérdida en un sitio y durante un lapso determinado, resultado de relacionar la vulnerabilidad del sistema y la amenaza a la cual se encuentra sometido” (EAAB)
- 48. Sistema de acueducto:** “Grupo de elementos, componentes y métodos operacionales cuya función es la captación, conducción, tratamiento y distribución de agua potable.” (EAAB)
- 49. Tramo:** “Es la unión sucesiva de tuberías para conformar una sección de red de alcantarillado, la cual está comprendida entre dos pozos de inspección.” (EAAB)
- 50. UGA:** “Unidad de gestión de alcantarillado.” (EAAB)